# 氣候變遷對農業長期生態系之影響長期觀測

陳琦玲[1,4] 蔡正國[1] 吳旻晃[1] 江志峰[1] 蔡志濃[1] 陳純葳[1] 陳健忠[1]
余志儒[1] 石憲宗[1] 陳淑佩[1] 蕭巧玲[1] 楊純明[1] 何佳勳[1] 姚銘輝[1]
張哲瑋[1] 吳泓書[1] 孫文章[2] 王瑞章[2] 吳文哲[3]

## 摘要

本研究之目的為探討氣候變遷對農業生態系之影響。由氣象資料顯示，雲林分場 1988 年至 2013 年呈現增溫之現象，而 2000 年至 2013 年各研究站平均氣溫並未呈現增溫趨勢；雨量方面顯示在 2010 年四月、2011 年四月及 2011 年 11 月之雨量有明顯高於往年之情形。水稻產量部份，雲林分場與溪口農場之水稻產量與平均氣溫、生長積溫之間無顯著相關，但可看出產量隨平均氣溫與生長積溫上升而下降的趨勢；全台 15 個試驗點之水稻產量亦與平均氣溫、生長積溫並無顯著相關，但仍可看出水稻產量隨平均氣溫與最低氣溫上升而下降，反之隨最高氣溫上升而上升；DNDC 對水稻生產模擬結果，未能呈現實際調查之南部產量高於北部之現象。水稻病害以稻熱病及紋枯病發生最多，在慣行農耕與永續農耕間無顯著差異；甘藷僅發生白絹病，在慣行農耕試驗田發生較輕微；落花生葉斑病在兩處理間發生情形相近，但銹病在慣行農耕發生率較低；荔枝酸腐病僅在慣行農耕試驗田發生輕微。在指標昆蟲方面，兩處理均以六條瓢蟲為優勢種，在年度間與多樣性方面則無明顯差異性。在雜草部份，永續農耕處理之平均雜草密度、平均雜草生質量以及每株雜草生質量皆高於慣行農耕區；輪作區之平均雜草生質量及每株雜草生質量高於連作區，而平均雜草密度則相反之。

**關鍵詞**：長期生態研究、慣行農耕、永續農耕、指標昆蟲。

## 前言

臺灣在自然生態系之研究以持續多年，在長期推展我國長期生態研究的學者金恒鑣博士的推動下，於 2006 年開始農業生態系之長期生態研究，並且與美國密西根州立大學 Kellogg Biological Station (KBS) 長期農業生態研究站維持合作關係。長期試驗之目標在於探討符合生態觀念之農耕操作能否減少亞熱帶之主要作物系統化學物質之投入。長期試驗之第一階段（95−100 年）在探討台灣幾種不同耕作制度之投入對生物多

1 行政院農業委員會農業試驗所。
2 行政院農業委員會臺南區農業改良場雲林分場。
3 國立台灣大學昆蟲系。
4 通訊作者 電子信箱：Chiling@tari.gov.tw；電話：04-23317407。

樣性之影響、生態系生產力維持之機制及其對環境之衝擊，並探求最佳管理模式；而第二階段（101−106 年度）主要目的為長期觀測氣候變遷對病菌與害蟲族群生態及農作罹病度之影響，及其對農作（水稻、花生與荔枝）生產之衝擊等，並獲悉農耕方式之投入多寡是否影響氣候變遷之衝擊，以了解各對策對氣候變遷之可調適程度。

台灣長期農業生態研究站包括：(1)農試所嘉義分所荔枝原生種保存園 (2.5ha)：果園生態研究；(2)嘉義分所溪口農場 (8.0ha)：雙期作水田與水旱輪作田生態研究；(3)臺南場雲林分場(7.0ha)：雙期作水田與水旱輪作田生態研究。三個研究站的氣象資料自 2007 年起，加入美國長期生態研究網之 ClimDB 的氣象資料庫，成為 LTER 研究網之一員。農業生態系有別於自然生態系，其試驗運作與管理均較自然生態研究站複雜，美國 26 個長期生態研究站，在農業方面亦只有 Kellogg Biological Station 一個站，該站係屬於溫帶農業生態研究站，臺灣若能建立另一完整的亞熱帶的農業生態研究站，未來除了了解我國農業生態系並提出管理法則外，亦可以與美國或其他溫帶者進行比較，提供更多元的生態系資訊，以減輕人類活動對生態造成的衝擊。

全球暖化將會衝擊農作物的生產量，造成糧食安全問題。根據 IPCC 第四次評估報告 (IPCC, 2007) 指出，1906−2005 年以來每年全球平均上升 0.74˚C。為探討氣候變遷對農業生態系之影響，本研究藉由台南區農業改良場雲林分場（以下簡稱雲林分場）與嘉義農業試驗分所溪口農場（以下簡稱溪口農場）LTER 2007−2013 年研究站及全台 15 個試驗點 2012 年一期與二期作水稻生長期之平均氣溫 ($T_{ave}$)、最高氣溫 ($T_{max}$)、最低氣溫 ($T_{min}$)與生長積溫(GDDs)，進行長期氣象資料與南北部度差異對水稻產量間之相關性評估。基於過往的氣候資料有限，本研究除了以 LTER 研究站資料評估多年氣溫變化對水稻台南 11 號產量之影響。此外，利用預測模式來預估在氣候變遷下水稻之產量變化模型。

Denitrification-Decomposition (DNDC) 模式是在農業生態系統下，建立碳 (C) 與氮 (N)的生物化學流程的基礎模式 (http://www.dndc.sr.unh.edu/)。模式分為兩大部分：第一部分，包含土壤氣候、作物生長、分解作用的模式，並且預測土壤的溫度、含水率、pH 值、還原電位(Eh) 和各物質的濃度分佈；第二部分，包含硝化作用、反硝化作用、發酵作用的模式，並且預測土壤與植物中二氧化碳 ($CO_2$)、甲烷 ($CH_4$)、氨 ($NH_3$)、一氧化氮 (NO)、一氧化二氮 ($N_2O$)、氮氣 ($N_2$)的釋放量。模式本身透過物理、化學定律和實驗下的經驗方程式合併並參數化出特別的地質化學或生物化學反應，而整個模式的形成包含有碳 (C)與氮 (N)的生物化學循環與生態機制；土壤中之碳與氮含量在植物體的成長中扮演很重要的角色，其會直接影響土壤中一系列的生物化學或地質化學的過程。在 DNDC 模式中藉由作物的參數，例如：最大產量、部分基質、碳氮比、水稻需求溫度、水的需求、固氮含量，模擬出植物體每日的光合作用、呼吸作用、

碳分配、水與氮的攝取等，藉此驗證其與觀測值是否相符。

在作物重要病害部份，本研究於本所嘉義分所、溪口農場及台南區農業改良場雲林分場設立長期農業生態園，針對水稻、落花生及荔枝等 3 種作物，在不同耕作制度 (水田, LL、水旱輪作田, LU)、不同施肥及施藥 (高投入, CA、低投入, SA) 處理下，長期調查、分析關鍵病蟲害及天敵發生之動態，本研究除了可瞭解在農業長期生態系中病蟲害及天敵之發生動態，並可探討在不同耕作制度下之生態系統中各主要因子間之交互作用，以瞭解永續維持生態系生產力之機制及其對環境之衝擊。

在指標昆蟲部份，由於昆蟲 (包括作物害蟲與天敵) 為農業生態系中重要的成員之一，其族群消長與農業生產息息相關，亦為農田生態系變異程度的重要指標 (Naeem & Li 1997; Altieri 1999)。其中，害蟲天敵的生物多樣性與豐度更是評估農業是否能夠永續經營的關鍵因子 (Schmitz 2007; Obrist & Duelli 2010)。簡言之，害蟲天敵在自然環境下可以發揮抑制害蟲族群的功能，高投入(如大量施用農藥)的作物管理破壞了這項功能，使得現今的作物生產模式陷入惡性輪迴的泥淖中。農業長期生態研究期望回溯至以往的農業管理模式，並且找到一個平衡點，可以滿足人類對農產品的需求，亦幫助農業得以永續經營。本研究參考美國密西根州立大學 W. K. Kellogg Biological Station (KBS) 長期生態研究有關指標昆蟲調查之經驗，基於 (1)符合減少使用農藥的研究目標；(2)已經確知瓢蟲為試區多種害蟲的重要捕食性天敵並且具有良好的搜尋獵物 (prey) 及遷移能力；(3)在研究人員能力所及與合理花費下進行調查工作，乃選定瓢蟲為指標昆蟲 (indicator insect)，在農業試驗所溪口農場及台南區農業改良場雲林分場試區之各處理區進行長期調查，建立基線資料 (baseline data) (Iperti & Paoletti 1999; Zahoor et al. 2003)，期了解農業生產體系肥料與農藥的投入以及氣候等因子對害蟲天敵族群的影響，幫助未來建立符合農業永續經營的作物管理模式。

在雜草相變遷部份，農田的管理措施將使農田內雜草相發生變化及變遷，造成原因相當的複雜而多樣，因此在不同農耕體系或制度下的經營管理措施，不僅須考慮對作物的效應，亦需關注對當時雜草相的影響。例如未經耕作與曾經耕作的水稻田將有不同組成的雜草群落，有學者認為雜草相的改變並非作物耕種的次數增加所造成，而係整地或水分管理不同引起(Kent *et al.*, 2001)；又如亞洲某些地區當以直播方式種植時，可使水稻田中的芒稷 (*Echinochloa colona*)、千金子 (*Leptochloa chinensis*)等一年生禾本科雜草成為優勢草種，取代移植稻田經常出現的鴨舌草 (*Monochoria vaginalis*)、細葉水丁香 (*Ludwigia hyssopifolia*)等闊葉草 (Ho & Itoh, 1991)。因此，對於不同的農耕生態系及農耕操作，應當長期調查農田的雜草相，以施予合適的雜草管理措施並避免生態環境的劣化。農耕的多種操作措施將對農耕生態系造成深遠影響，所涉及的層面十分廣泛，對於週期循環變化的雜草而言，可能直接或間接影響雜草種

類及密度的發展，而對農田的經營管理層面，則將牽涉作物與雜草間的競爭關係，並進而改變整個農田生物多樣性的維護。有鑑於此，本研究特別針對農業長期生態系試驗所設立的 2 大農耕生態系統的雜草相進行深入探討，本階段在於瞭解雙期作水田農耕生態系及一期作水稻、二期作落花生水旱輪作農耕生態系的雜草相變化及其差異。未來將持續追蹤不同農耕處理 (操作) 下雜草相的長期變遷，期能提供評估建議予不同農耕生態系下雜草管理的參考，並助益於農耕系統的永續經營發展。

## 材料與方法

### 一、農業長期研究站

#### 1. 試驗樣區基本資料

本研究以 2006 年成立之三處農業長期生態研究站，包括台南農改場雲林分場、農試所溪口農場及農試所嘉義分所為試驗樣區，三處之基本資料如表 1 所示。

#### 2. 投入處理及施肥管理

慣行農耕 (Conventional Agroecosystem；CA) 以現行之推薦管理方法進行耕作，肥料用量如表 2 所示；永續農耕 (Sustainable Agroecosystem；SA) 之肥料用量約為推

表 1. 農業長期生態研究站基本資料。

Table 1. Information of three LTER stations on agriculture system

| | | | 雲林分場 | 溪口農場 | 嘉義分所 |
|---|---|---|---|---|---|
| 土壤特性 | | 土質 | 石灰性<br>砂頁岩沖積土 | 石灰性<br>砂頁岩沖積土 | 紅壤 |
| | | pH | 4.0−6.5 | 6.0−7.5 | 4.0−5.0 |
| | | 質地 | 砂質壤土 | 坋質粘壤土 | 表土：壤土<br>底土：坋質粘土 |
| 作物制度與投入處理 | 連作 | LL-CA | 花生-甘藷(96-97 年) | 水稻-水稻 | 荔枝園 |
| | | UU-CA | 水稻-水稻(98-100 年) | | |
| | | LL-SA | 花生-甘藷(96-97 年) | 水稻-水稻 | 荔枝園 |
| | | UU-SA | 水稻-水稻(98-100 年) | | |
| | 輪作 | LU-CA | 水稻-甘藷(96-97 年)<br>水稻-花生(98-100 年) | | 荔枝園 |
| | | LU-SA | 水稻-甘藷(96-97 年)<br>水稻-花生(98-100 年) | | 荔枝園 |
| 滲漏計 | | 埋設時間 | 2008 年 | 2007 年 | 2007-2009 年 |
| | | 埋設支數 | 8 支 | 6 支 | 6 支 |

註：LL 為旱作連作／UU 為水田連作／LU 為水旱輪作；CA 為慣行農耕／SA 為永續農耕。

薦量的 80%，善用最新科技技術及知識為基礎，考慮長遠的最大利益為依歸，不求取現今最大的利益為目標。

**3. 各投入處理之農藥使用情形如表 3 所示。**

**4. 氣象資料之收集**

三個長期生態研究站 (農試所嘉義分所、嘉義分所溪口農場及臺南場雲林分場) 位置圖及基本資料如圖 1、圖 2、圖 3、圖 4 及表 4 所示；氣象資料係各研究站之氣象站收集，包括氣溫、相對濕度、日射量、日照時數、降雨、風向和風速等感測器項目。氣象站每秒掃描各感測器一次，但資料記錄器僅記錄每小時各氣象感測器量測之平均值，並回傳至伺服器。

表 2. 雲林分場與溪口農場之肥料處理量。

Table 2. Quantity of fertility on Yuin-Lin branch station and Chi-Ko branch farm

| 雲林分場 | | | UU | | LU | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | CA | SA | CA | SA |
| 96−97 年 | 第一期 | 落花生 | 45:45:50 | 20:15:15 | | |
| | | 水稻 | | | 160:72:84 | 100:30:30 |
| | 第二期 | 甘藷 | | 80:45:180 | 60:30:120 | 80:45:180 |
| | | | LL | | LU | |
| | | | CA | SA | CA | SA |
| 98−100 年 | 第一期 | 水稻 | 160:72:84 | 100:30:30 | 160:72:84 | 100:30:30 |
| | 第二期 | 水稻 | 160:72:84 | 100:30:30 | | |
| | | 落花生 | | | 45:45:80 | 20:15:40 |
| 溪口農場 | | | LL | | LU | |
| | | | CA | SA | CA | SA |
| 96−97 年 | 第一期 | 水稻 | 180:175:130 | 100:89:68 | 180:175:130 | 100:89:68 |
| | 第二期 | 水稻 | 120:60:60 | 80:30:30 | | |
| | | 甘藷 | | | 80:45:180 | 60:30:120 |
| 98−100 年 | 第一期 | 水稻 | 140:70:85 | 100:30:30 | 140:70:85 | 100:30:30 |
| | 第二期 | 水稻 | 120:60:60 | 80:30:30 | | |
| | | 落花生 | | | 45:45:40 | 20:15:15 |

註：各處理為：LL－水田連作，LU－水旱輪作，UU－旱田連作，CA－慣行農耕，SA－永續農耕；作物品種分別為：水稻－台南 11 號，甘藷－台農 57 號，落花生－台南 14 號；施肥比例為 N: $P_2O_5$: $K_2O$。

表 3. 各投入處理之農藥投入

Table 3. Different treatments between conventional (CA) and sustainable agroecosystem (SA)

| | 水田 | 旱田 |
|---|---|---|
| 慣行農業(CA) | 預估對產量有明顯影響時才用藥 | 使用現行管理模式 |
| 永續農業(SA) | 不用藥處理 | 病蟲害嚴重時才用藥 |

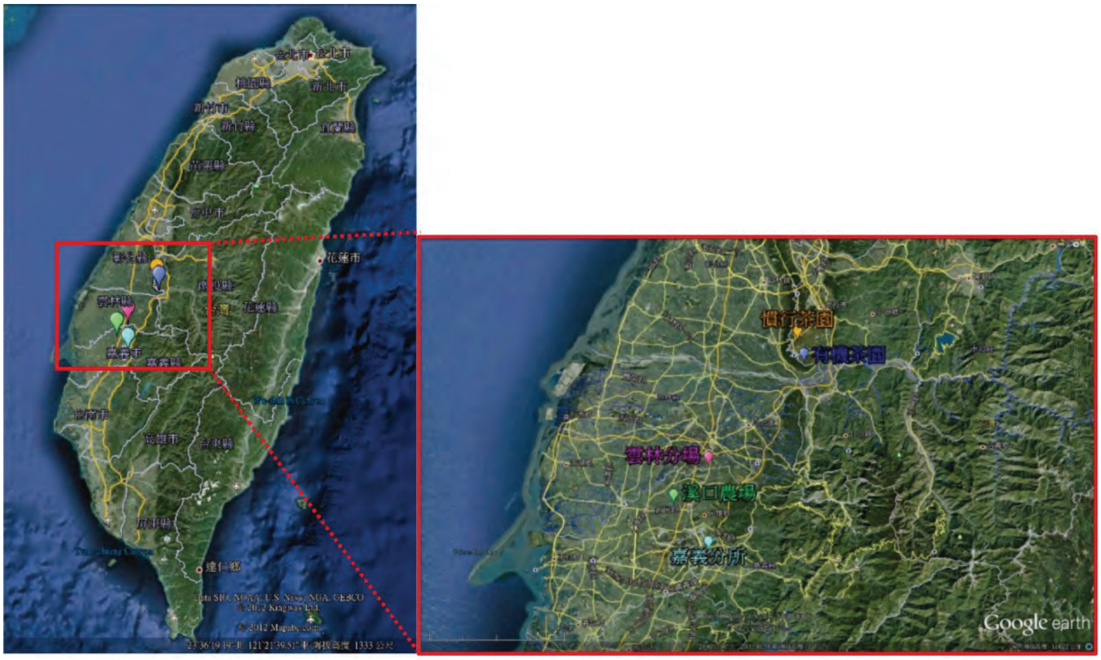



圖 1. 臺灣農業長期生態研究站位置圖。

Fig. 1. The location of three LTER stations on agriculture system in Taiwan

圖 2. 雲林分場試驗設計配置圖(CA：慣行耕作模式；SA：永續耕作模式)。

Fig. 2. The location of different treatments on Yuin-Lin branch station (CA: conventional agroecosystem; SA: sustainable agroecosystem)

圖 3. 溪口分場試驗設計配置圖(CA：慣行耕作模式；SA：永續耕作模式)。

Fig. 3. The location of different treatments on Chi-Ko branch farm (CA: conventional agroecosystem; SA: sustainable agroecosystem)

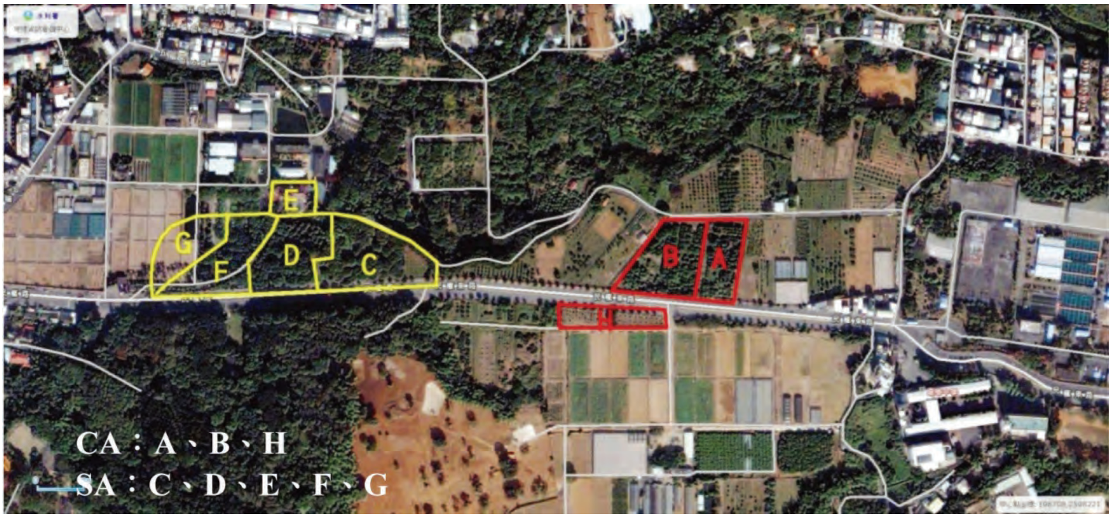



圖 4. 農試所嘉義分所荔枝園試驗設計配置圖(CA：慣行耕作模式；SA：永續耕作模式)。

Fig. 4. The location of different treatments on Chia-Yi branch of Agricultural Research Institute (CA: conventional agroecosystem; SA: sustainable agroecosystem)

## 二、氣溫對水稻台南 11 號產量之影響

### 1. 長期生態研究站歷年水稻生長期氣溫與其產量之迴歸分析

為瞭解台灣農業站之長期氣溫變化趨勢以及評估多年氣溫變化對水稻產量之影響，本研究之研究對象為南部栽種面積較廣水稻品種台南 11 號，並採用設於台灣 LTER 研究站雲林分場與溪口農場場內農業氣象站歷年 (2007 年至 2013 年) 氣溫資料及採慣行耕法之歷年產量進行相關與迴歸分析，若遇氣象站內偵測儀器於部分日期出現故障而導致缺值產生時，則改以近歷年該日之氣溫資料平均值 (normal year) 取代。另外，

表 4. 台灣三處農業長期生態研究站氣象基本資料表。
Table 4. Meteorological information of three LTER stations on agriculture system.

| | G2M35 溪口農場 | G2L02 嘉義分所 | 72K22 雲林分場 |
|---|---|---|---|
| 經緯度　　經度 | 120°40’47” | 120°47’01” | 120°47’64” |
| 緯度 | 23°58’18” | 23°48’57” | 23°63’30” |
| 海拔高度(公尺) | 16 | 50 | 35 |
| 成立時間 | 1987 年 6 月 | 1922 年 9 月 | 1987 年 4 月 |
| 氣象資料登錄 | | | |
| Morpho | 2006 年開始 | 2000 年開始 | 1990 年開始 |
| ClimDB | 2000 年開始 | 2000 年開始 | 2000 年開始 |
| 氣象觀測項目 | | | |
| 氣溫　平均溫度 | V | V | V |
| 極端最高溫 | | V | V |
| 極端最低溫 | | V | V |
| 露點溫度 | | | V |
| 光度　全日射量(MJ) | V | | V |
| 日照時數(Hour) | V | | V |
| 光量子計(μmol) | V | | |
| 相對溼度 | V | V | V |
| 降雨量 | V | V | V |
| 風速 | V | V | V |
| 風向 | V | V | V |
| 蒸發散量 | | | V |
| 大氣壓力 | | | V |
| 土壤溫度　5 公分 | V | | V |
| 10 公分 | V | V | V |
| 20 公分 | V | | V |
| 50 公分 | V | | V |
| 100 公分 | V | | V |

水稻於生長發育過程中，每日環境平均溫須超過其基礎溫度，才可達到另一發育階段，因此本研究有計算水稻之生長積溫 Growing degree days，後簡稱 GDDs) ，其計算公式如下述：

$$GDDs = \Sigma(T_{ave} - T_{base})$$

其中，$T_{ave}$ 為每日平均氣溫，而 $T_{base}$ 是以 10˚C 代表水稻基礎溫度 (Sarma, *et al.*, 2008)。

**2. 2012 年全台 15 處試驗點水稻生長期氣溫與其產量之迴歸分析**

為評估台灣南北溫差對水稻產量之影響，本研究採用全台 15 個試驗點 2012 年一期與二期作水稻產量，以及離試驗田 20 公里以內之紀錄最完整之氣象站水稻生長期間平均氣溫、最高氣溫、最低氣溫與生長積溫進行相關與迴歸分析，若氣象資料於部分日期有缺值，則改以 2001 年至 2010 年該日之氣溫資料平均值(normal year) 取代。本研究使用各試驗田與氣象站位置參見圖 5。

3.利用 DNDC 模式觀測台灣南北溫差對水稻產量之影響

為評估台灣南北溫差對水稻產量之影響，使用 DNDC 中之 site 模式，將氣象檔與作物基本資料輸入，包括每日相對濕度、輻射、風速、最大溫度、最小溫度、植物體的種類、地貌、土壤性質 (質地、pH、比例) 以及農作時程等；模擬完畢後 site 模式會將作物的收穫的基質，以及隨著植物成長增加的葉、莖、根的基質以每日為單位之模擬結果輸出。此外，模式中之分解作用計算基礎在於土壤中所存在的土壤有機質 (SOM) 的含量、土壤氣候和土壤的可用性氮。而硝化與反硝化作用的預測機制則藉由變化中的還原電位和其他相關物質(例如：溶解性有機碳 (DOC), $NH_4^+$, $NO_3^-$, NO, $N_2O$)。當浸水事件發生時，DNDC 模式會藉由連續減少的硝酸鹽、錳離子 ($Mn_4^+$)、鐵離子 ($Fe_3^+$)和硫酸鹽追蹤土壤的還原電位的減少機制。當低於一定的還原電位時，發酵作用模式將被啟動進而計算甲烷的產生量。

## 三、不同耕作制度下重要作物病害調查

配合其他子計畫之試驗設計，不同耕作制度及處理下，每一區分別調查關鍵病蟲害及天敵發生動態。

**1. 水稻**

主要調查稻熱病、白葉枯病與紋枯病等三種主要病害。分於溪口農場和雲林分場其中一種病害初發生後，即開始定期調查各病害之罹病率 (Disease incidence) 與罹病等級 (Disease index)。稻熱病與白葉枯病的調查於每區塊田隨機調查 5 點，每點記錄 25 叢 (panicle) 稻株，稻熱病與白葉枯病之罹病等級採 IRTP (International Rice Testing Program, 1976) 之計算方式，以病斑佔葉面積之百分率為判定依據。稻熱病共分成 0–9 級，未有病斑者為 0 級，發病面積 1% 以下為 1 級、2% 以下為 3 級、

2–10% 為 5 級、11–25% 為 6 級、26–50% 為 7 級、51–75% 為 8 級、超過 75% 為 9 級；白葉枯病則以發病面積 1% 以下為 1 級、1–5% 為 3 級、6–25% 為 5 級、26–50% 為 7 級、51–100% 為 9 級。紋枯病之調查亦於每區田任取 5 點，每點調查 25 叢稻株之罹病等級，此病害之罹病等級採 IRTP (1976) 之計算方式，以病斑佔葉鞘株高比率為依據，1–25% 為 1 級、26–50% 為 3 級、51–75% 為 5 級、75% 以上為 7 級、所有葉鞘與葉片均遭受嚴重感染為 9 級。最後再依下列公式換算成罹病度 (Disease severity)。罹病度=Σ (指數 × 該指數罹病株數)／( 9 × 總調查叢數) × 100%。

圖 5. 2012 年全台 15 處試驗點位置圖。

Fig. 5. Fifteen study station around Taiwan in 2012.

**2.落花生**

隨機調查 5 點，每點調查 25 株落花生之銹病罹病度。調查方式如下：每株按發病佔全株比例而分級，0：未發病；1：代表發病面積佔全株 1–5%；2：代表發病面積佔 11–25%；3：代表發病面積佔全株 25–50%；4：代表發病面積佔全株面積 50% 以上,並依下列公式算出罹病度。罹病度=Σ(指數×該指數罹病株數)／(4×總調查葉數)×100%。

**3.荔枝**

定期調查果實露疫病及酸腐病之罹病率，每區逢機取 5 株，每株調查 100 顆果實，換算成罹病率。

## 四、農業長期生態試驗園區指標昆蟲–瓢蟲之調查

於溪口農場及雲林分場試驗田區之每一試驗小區各設立二支 T 型支架 (長 120 cm、高 150 cm)，每個支架設立於試驗田中央長軸前、後兩邊距離田埂 20 m 處，支架上懸掛一塊黃色黏板 (33 x 28 cm) (如圖 6 所示)。每二星期將黃色黏板收回並掛上新黏板，並於實驗室內參考 Yao & Tao (1972)及 Yu & Wang (1999) 之檢索與圖鑑檢視並記錄黏板上所捕獲瓢蟲的種類與數量。

## 五、氣候變遷對不同耕作制度下雜草相之變化

雜草試驗於行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所溪口農場之農業長期生態系試驗區進行 (圖 3)，試區雜草種類與數量的調查，係自每一農耕生態系的重複小區中逢機取樣 4 點，每點面積 1 $m^2$，先計算各重複小區 4 點的平均值，再計算各農耕生態系

圖 6. 黃色黏板懸掛情形。

Fig. 6. The situation of yellow sticky traps around the field

全部小區的均值作為代表值。各農耕生態系的試區，皆於收獲前數日進行取樣調查，先將 1 $m^2$ 面積內的所有雜草樣本拔取攜回研究室，經過清洗、分類後記錄雜草的科屬別、物種別，量測植株數量後得到密度 (pl $m^{-2}$)。續稱取其等鮮重，又經 80℃烘乾 72−96 h 後稱取乾重。試驗資料之統計分析採用 SAS 軟體 (version 9.1, SAS Institute)，繪圖軟體則採用 Sigmaplot (version 8.0, SPSS ASC BV, The Netherlands)。除了各農耕生態系的均值，亦計算其機差 (或稱標準誤，standard error; SE)及雜草出現百分比(%)，後者係指每一農耕生態系中該雜草科別或種別出現之百分比，公式如下列：

$$\text{雜草出現百分比(\%)} = \frac{\text{該雜草科別或種類之株數}}{\text{該農耕生態系中所有雜草科別或種類之株數總和}} \times 100\%$$

## 結果與討論

### 一、氣象資料之收集

1.長期生態研究站歷年之氣溫變化趨勢

在三個研究站中，以雲林分場之氣象觀測時間最長，自 1988 年起即有氣溫之觀測資料 (如圖 7 所示)，雖期間氣象資料監測有部份中斷 (1993 年至 1996 年)，但仍能從 25 年長期觀測資料看出氣溫呈現增溫之現象，但若僅分析 2000 年至 2013 年各研究站之氣溫迴歸分析，則未呈現增溫之現象 (圖 8)。依據中研院氣候變遷研究 (圖 9；汪，2011) 指出，從台灣長期觀測資料顯示氣溫有逐漸增加之現象，雨量變化亦逐漸加劇，但在 2000 年至 2013 年間正好是氣溫變化不大之區段，與近年生態研究站之觀測結果相近。

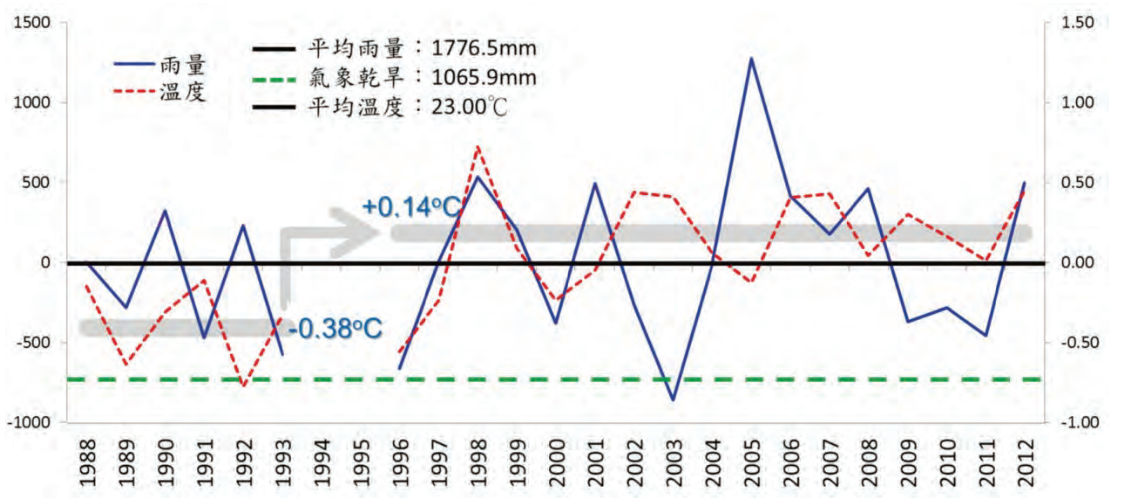



圖 7. 雲林分場歷年平均溫度及雨量變化圖。

Fig. 7. Average temperature and rainfall on Yuin-Lin branch station over the years

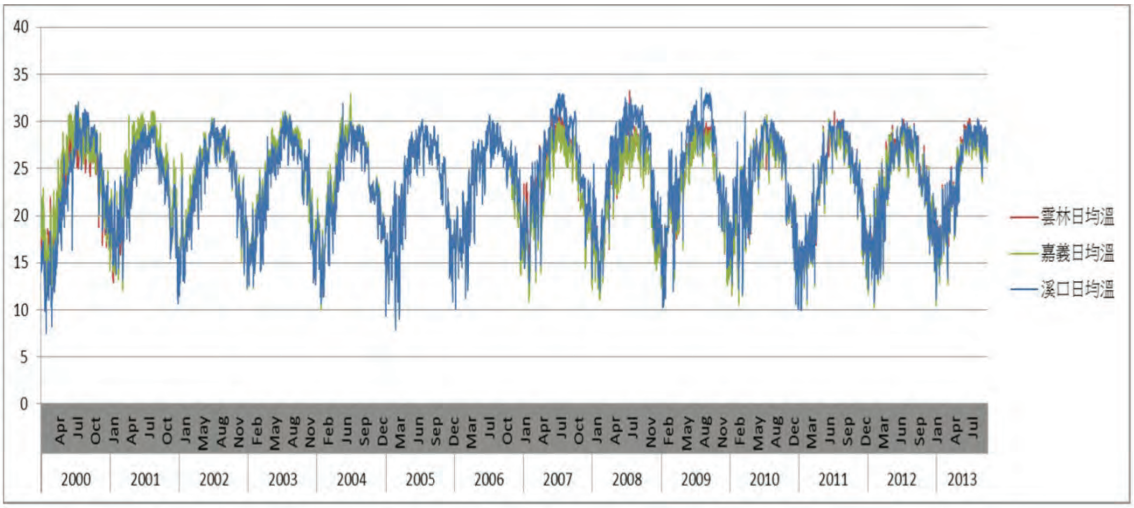



圖 8. 雲林分場、嘉義分所及溪口農場歷年(2000−2013 年)之月平均溫度變化圖。

Fig. 8. Average temperature on Yuin-Lin branch station, Chi-Ko branch farm, and Chia-Yi branch of Agricultural Research Institute from 2000 to 2013.

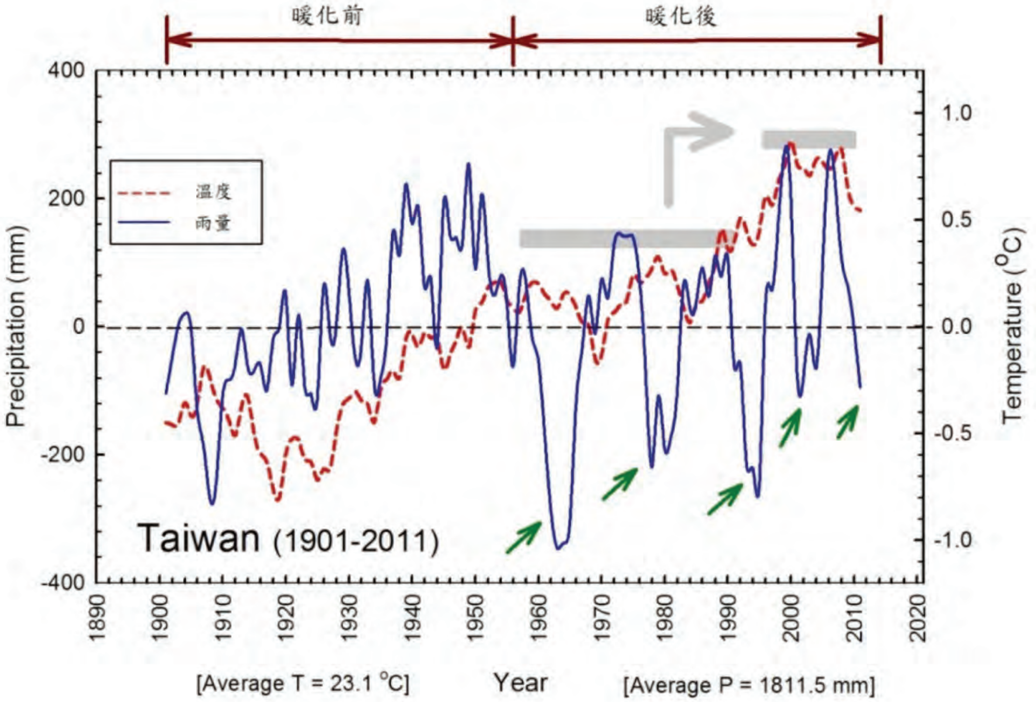



圖 9. 台灣地區歷年(1901−2011 年)平均溫度及雨量變化圖。(汪，2011)

Fig. 9. Average temperature and rainfall in Taiwan from 1901 to 2011 (Wang, 2011).

**2. 長期生態研究站歷年之雨量變化趨勢**

從三個研究站的月累積雨量分佈圖顯示，台灣中部地區仍是夏季多雨冬季乾旱的乾濕分明形態 (如圖 10 至圖 12 所示)，但 2011 年與 2012 年四月份較往年雨量多，而影響荔枝之授粉及產量；11 月的降雨使得土壤黏性較高之溪口農場花生採收困難度增加，然這些變化應仍屬正常降雨變異範圍內。2012 年八月下旬仍有降雨，也使得溪口農場田區濕濘無法耕犁，而錯過了落花生適栽時間，許多農民因此放棄旱作，而改種二期稻作。未來若經常性發生前述情形，則需考慮一些因應策略，如考慮不整地之耕作方式等，使農耕時序不致因降雨而延誤。

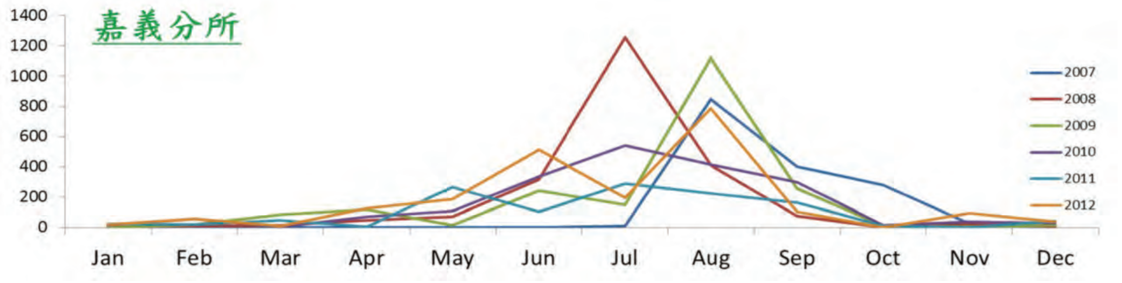



圖 10. 2007−2012 年嘉義分所之月雨量圖。

Fig. 10. Monthly accumulated rainfall on Chia-Yi branch of Agricultural Research Institute from 2007 to 2012.

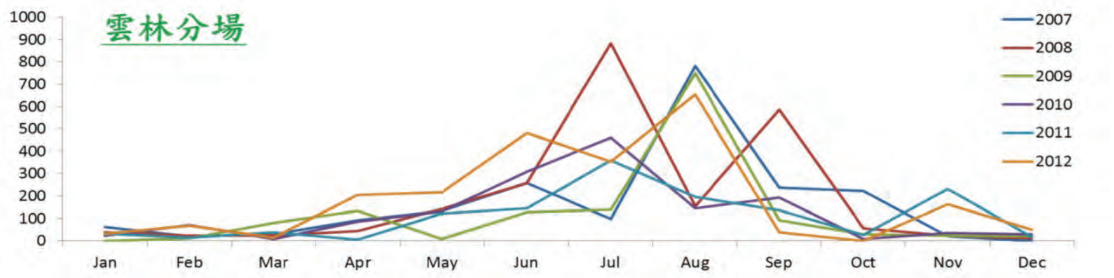



圖 11. 2007−2012 年雲林分場之月雨量圖。

Fig. 11. Monthly accumulated rainfall on Yuin-Lin branch station from 2007 to 2012.

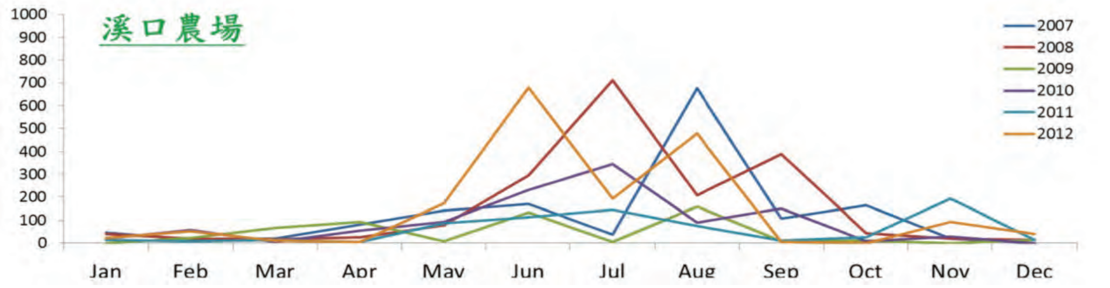



圖 12. 2007−2012 年溪口農場之月雨量圖。

Fig. 12. Monthly accumulated rainfall on Chi-Ko branch farm from 2007 to 2012.

## 二、氣溫對水稻台南 11 號產量之影響

1.長期生態研究站 2007−2013 年氣溫變化趨勢

以雲林分場與溪口農場 2007−2013 年平均氣溫資料進行分析，求得長期氣溫變化折線圖 (圖 13)，並加繪製了趨勢線於折線圖上，便於瞭解整體趨勢。趨勢線的結果顯示在這幾年間，並未顯示氣溫有逐年遞增之現象。然而，IPCC 報告所指出的增溫趨勢乃百年以上之大尺度觀測結果，全球平均地表溫度於百年間仍有波動變化。IPCC 第四次評估報告亦指出，1995 年至 2006 年這 11 年間在地表有紀錄溫度史(從 1850 年以來)中名列最暖的前 12 名，本研究所觀測到的趨勢乃從 2006 年至 2013 年，推測此時台灣平均氣溫屬下降之常態波動。

2.長期生態研究站 2007−2013 年水稻生長期氣溫與產量之迴歸分析

以雲林分場與溪口農場場內農業氣象站於水稻台南 11 號生長期間每日平均氣溫為基礎，求得整個生長期間之平均氣溫與生長積溫兩參數，再以此兩參數與水稻產量進行相關與迴歸分析，所投入分析的參數值與樣區資料列於表 5。根據雲林分場歷年氣溫與產量數據進行分析，結果顯示其平均氣溫、生長積溫與產量之間無顯著相關，p 值分別為 0.62 與 0.41，然而就趨勢而言，雲林分場的產量有隨平均氣溫與生長積溫上升而上升的趨勢 (圖 14(a)、圖 4(a))，決定係數 $r^2$ 分別為 0.17 與 0.28。根據溪口農場歷年氣溫與產量數據進行分析，結果顯示平均氣溫與產量呈顯著負相關 ($p = 0.04$)，即表示產量隨著平均氣溫上升而下降 (圖 14(b)，決定係數 $r^2$ 為 0.301。然而，溪口農場其生長積溫與產量並無顯著相關 ($p = 0.51$)，然而就趨勢而言，溪口農場之生長積溫與平均氣溫有相同的趨勢，即產量隨生長積溫上升而下降 (圖 15(b)，r2 = 0.0376)。雲林分場之平均氣溫範圍為 22.5~26.6˚C，溪口農場之平均氣溫範圍為 22.0~27.8 ˚C，而根據前述結果顯示，雲林分場與溪口農場平均氣溫與生長積溫與產量分析所呈現相反的趨勢，因此推測台南 11 號生長期間平均氣溫在 27 ˚C 左右會有最高生產量，低於 27 ˚C 或高於 27 ˚C 則產量遞減。

由於上述各樣區歷年資料僅有十筆 (一年各有兩期稻作，共計五年)，能進行分析樣本數偏少，因此本研究試將雲林分場與溪口農場資料合併進行分析，其結果顯示平均氣溫與生長積溫與產量之間無顯著相關，p 值分別為 0.06 與 0.29。就趨勢而言，水稻產量會隨平均氣溫與生長積溫上升而下降 (圖 16)，決定係數 $r^2$ 分別為 0.15 與 0.05。由於雲林分場與溪口農場的土質有所差異，合併兩場資料進行分析即意謂著多投入一個環境變數，可能是受此變數影響造成前述合併分析結果之解釋力(決定係數 $r^2$)降低。此外，所有上述的決定係數均偏低，係因影響水稻產量之因素繁雜，平均氣溫、生長積溫對水稻產量的解釋程度有限，這亦表示除了本研究中所考慮之溫度因素(平均氣溫與生長積溫)外尚有其他因素影響水稻產量。

表 5. 雲林分場與溪口農場 2007−2012 年環境與水稻生產資料

Table 5. Environmental data and yield of rice grown on Yuin-Lin branch station and Chi-Ko branch farm from 2007 to 2012

| 地點 | 年度 | 種植系統 | 期作 | 施氮量 (kg/ha) | 生育日數 | 產量 (kg/ha) | 平均氣溫 (˚C) | 生長積溫 (度日) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 雲林分場 | 2007 | 水旱輪作 | 1 | 160 | 116 | 9170 | 26.4 | 1902.9 |
| | 2008 | 水旱輪作 | 1 | 160 | 127 | 7063 | 23.1 | 1668.5 |
| | 2009 | 水旱輪作 | 1 | 160 | 126 | 6736 | 23.7 | 1726.2 |
| | 2009 | 水田連作 | 1 | 160 | 126 | 6946 | 23.7 | 1726.2 |
| | 2009 | 水田連作 | 2 | 160 | 128 | 9222 | 25.0 | 1919.4 |
| | 2010 | 水旱輪作 | 1 | 160 | 134 | 7783 | 22.5 | 1673.4 |
| | 2010 | 水田連作 | 1 | 160 | 134 | 9334 | 22.5 | 1673.4 |
| | 2010 | 水田連作 | 2 | 160 | 119 | 8931 | 25.2 | 1808.2 |
| | 2011 | 水旱輪作 | 1 | 160 | 141 | 7314 | 22.8 | 1799.6 |
| | 2011 | 水田連作 | 1 | 160 | 141 | 9224 | 22.8 | 1799.6 |
| | 2011 | 水田連作 | 2 | 160 | 120 | 7403 | 26.6 | 1991.4 |
| | 2012 | 水旱輪作 | 1 | 160 | 141 | 9065 | 23.5 | 1904.6 |
| | 2012 | 水田連作 | 1 | 160 | 141 | 8721 | 23.5 | 1904.6 |
| | 2012 | 水田連作 | 2 | 160 | 124 | 8403 | 24.8 | 1829.5 |
| 溪口農場 | 2007 | 水旱輪作 | 1 | 180 | 115 | 6533 | 27.0 | 1956.7 |
| | 2007 | 水田連作 | 1 | 180 | 140 | 6832 | 25.1 | 2109.7 |
| | 2007 | 水田連作 | 2 | 120 | 107 | 4446 | 27.6 | 1879.6 |
| | 2008 | 水旱輪作 | 1 | 180 | 120 | 7106 | 25.0 | 1798.5 |
| | 2008 | 水田連作 | 1 | 180 | 120 | 6837 | 25.0 | 1798.5 |
| | 2008 | 水田連作 | 2 | 120 | 117 | 4913 | 27.8 | 2085.6 |
| | 2009 | 水旱輪作 | 1 | 140 | 122 | 7428 | 25.4 | 1874.4 |
| | 2009 | 水田連作 | 1 | 140 | 122 | 7429 | 25.4 | 1874.4 |
| | 2010 | 水旱輪作 | 1 | 140 | 141 | 8340 | 23.2 | 1863.4 |
| | 2010 | 水田連作 | 1 | 140 | 142 | 8776 | 23.2 | 1873.9 |
| | 2010 | 水田連作 | 2 | 120 | 120 | 6233 | 25.5 | 1860.6 |
| | 2011 | 水旱輪作 | 1 | 140 | 146 | 7823 | 22.0 | 1752.3 |
| | 2011 | 水田連作 | 1 | 140 | 146 | 5514 | 22.0 | 1752.3 |
| | 2011 | 水田連作 | 2 | 120 | 123 | 7370 | 26.5 | 2024.5 |
| | 2012 | 水旱輪作 | 1 | 140 | 140 | 9586 | 22.7 | 1780.2 |
| | 2012 | 水田連作 | 1 | 140 | 140 | 8505 | 22.7 | 1780.2 |
| | 2012 | 水田連作 | 2 | 120 | 134 | 7130 | 25.4 | 2063.3 |

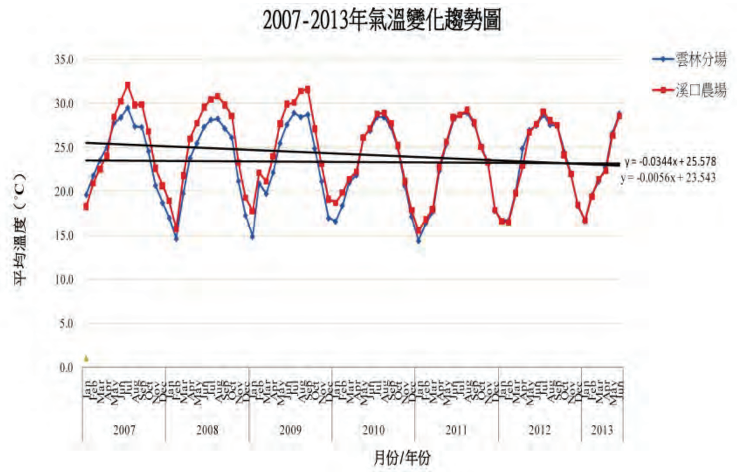



圖 13. 2007−2013 年雲林分場(藍色)與溪口農場(紅色)平均氣溫變化趨勢圖。

Fig. 13. Monthly average temperature between Yuin-Lin branch station (blue) and Chi-Ko branch farm (red) from 2007 to 2012.

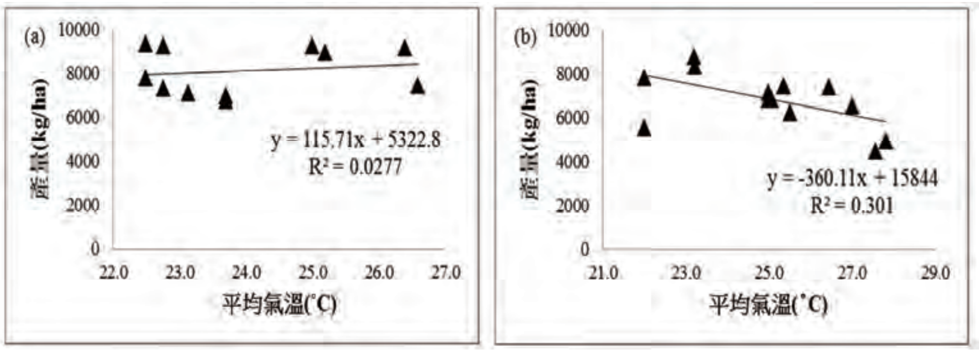



圖 14. 水稻生長期平均氣溫與產量之迴歸分析結果，(a)雲林分場；(b)溪口農場。

Fig. 14. The regression relationship between yield of rice grown and average temperature: (a) Yuin-Lin branch station and (b) Chi-Ko branch farm.

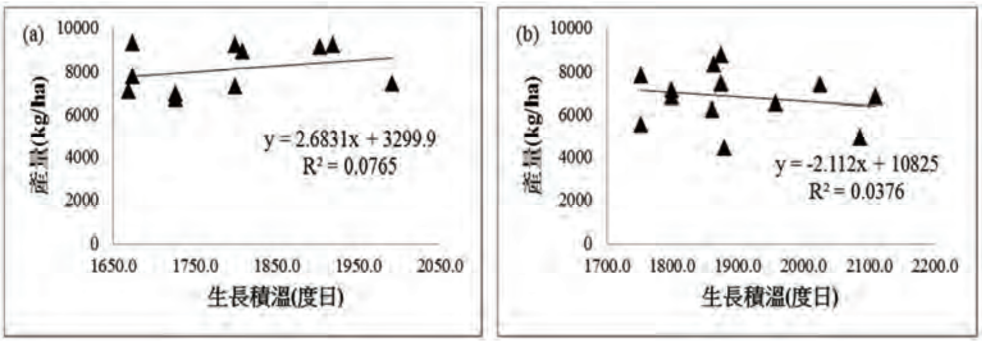



圖 15. 水稻生長積溫與產量之迴歸分析結果，(a)雲林分場；(b)溪口農場。

Fig. 15. The regression relationship between yield of rice grown and growing degree day (GDD): (a) Yuin-Lin branch station and (b) Chi-Ko branch farm.

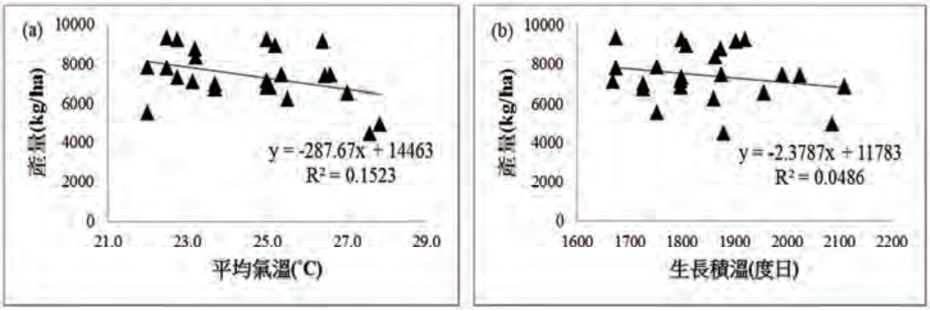



圖 16. 雲林分場與溪口農場水稻生長期氣溫與產量之迴歸分析結果，(a)平均氣溫；(b)生長積溫。
Fig. 16. The regression relationship between yield of rice grown and (a) average temperature and (b)growing degree day (GDD) on Yuin-Lin branch station and Chi-Ko branch farm

**3.2012 年全台 15 處試驗點一期與二期作水稻生長期氣溫與產量之迴歸分析**

根據 2012 年全台 15 處試驗點之產量與其鄰近氣象站測值進行分析，結果顯示無論是平均氣溫、最高氣溫、最低氣溫或生長積溫與產量均無顯著相關，p 值分別為 0.63、0.997、0.36 與 0.43。就趨勢而言，產量隨平均氣溫與最低氣溫上升而下降 (圖 17(a)、(d))，決定係數 $r^2$ 分別為 0.02 與 0.05。反之，產量隨生長積溫與最高氣溫上升而上升(圖 17(b)、(c))，決定係數 $r^2$ 分別為 8E-07 與 0.07。迴歸分析的結果，其決定係數較長期研究站資料所分析之結果低，推測係因跨台灣南北樣區本身環境變數較多，加上影響產量等繁雜因素交互作用，降低了本研究中所考慮之溫度因素對產量的解釋力。

4.DNDC 模式觀測台灣南北溫差對水稻產量之影響

除了少數地區外，台灣南部地區之水稻產量實測值高於北部地區，然而 DNDC 結果並非如此 (如圖 18 所示)，是否與氣象資料與土壤特性有關值得我們再深入探討。

## 三、不同耕作制度下重要作物病害調查

**1.水稻**

2013 年第一期作溪口農場與雲林分場有水稻稻熱病與紋枯病發生，稻熱病於 3 月初即開始零星發生，4 月因氣候因素開始蔓延，隨後兩場分別進行藥劑防治後，再加上水稻植株生長加速，病害危害程度有下降之趨勢 (表 6、8)；紋枯病於溪口農場最早 5 月中旬始零星發生 (表 7)，最高罹病率才 6.3% (5 月 15 日, LU-CA)，雲林分場則到 6/5 號最後一次調查時才有零星發生，罹病率分別為 LL-CA 0.0%，LL-SA 0.8%，LU-CA 0.2% 和 LU-SA 0.1%。第二期作兩試驗區均發生稻熱病，但發生輕微 (罹病等級均為 1.0)，罹病率最高分別為溪口農場 LL-SA 24.6% (10 月 23 日，表 9) 和雲林分場 LL-CA 24.0% (10 月 2 日，表 10)。另以最後調查日的罹病率和罹病度進行獨立樣本 T 檢定 (統計分析軟體 SAS-EG4)，結果顯示除第一期作溪口農場的水田連作 (LL) 和雲林分場的水旱輪作 (LU) 之 CA 與 SA 處理有顯著差異外，其餘皆對病害發生無顯著之影響 ($P > 0.05$)。

**2.荔枝**

嘉義分所荔枝病害發生調查結果顯示高投入區無露疫病發生，酸腐病發病率低於 1.0%；低投入區則因大量落果無法進行病害調查。

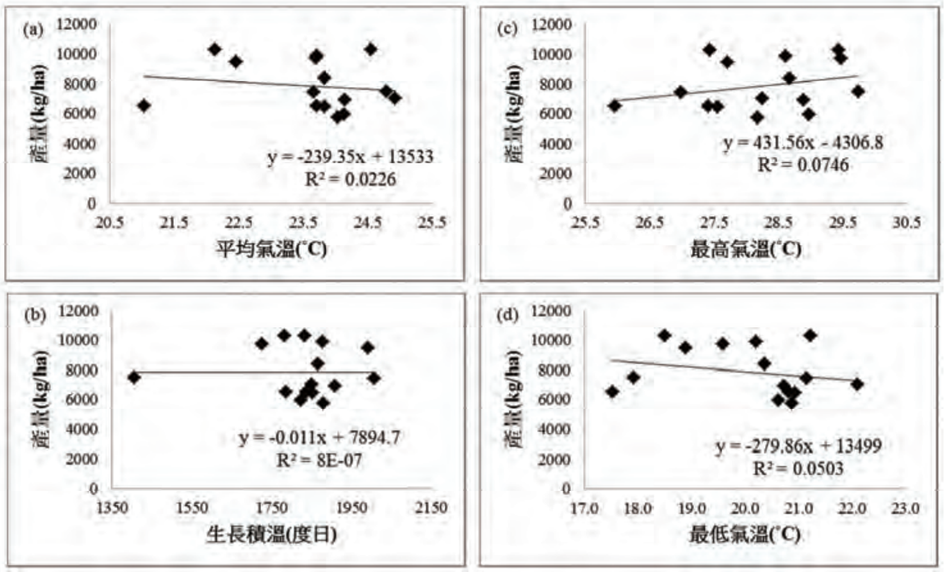



圖 17. 全台 15 處試驗點一期作水稻生長期氣溫與產量之迴歸分析結果，(a)平均氣溫；(b)生長積溫；(c)最高氣溫；(d)最低氣溫。

Fig. 17. The regression relationship between yield of rice grown and (a) average temperature ,(b) growing degree day (GDD), (c) maximum temperature, and (d) minimum temperature on 15 study stations around Taiwan.

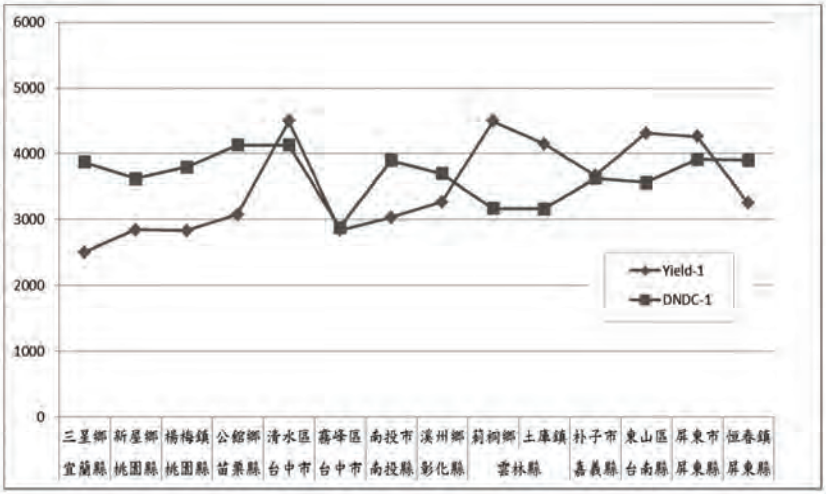



圖 18. DNDC 模式觀測台灣南北溫差對水稻產量之影響。

Fig. 18. The DNDC modeling applying to predict the effect of the yield of rice grown via temperature difference between north and south Taiwan.

表 6. 2013 年第一期作溪口農場水稻葉稻熱病之罹病率與罹病度。

Table 6. The disease incidence and disease severity of rice leaf blast in Chi-Ko Branch Farm in the first crop 2013

| Treatment | Disease incidence, % (disease severity, %) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3/07 | 3/20 | 4/03 | 4/17 | 5/02 | 5/15 | 5/29 |
| LL-CA[1] | 0.8(0.1) | 0.8(0.1) | 76.2(17.9) | 7.8(0.9) | 8.4(1.4) | 0.4(0.0) | 0.0(0.0) |
| LL-SA | 1.0(0.1) | 1.8(0.2) | 56.8(10.0) | 2.9(0.3) | 7.0(1.0) | 1.0(0.1) | 3.2(0.4) |
| LU- CA | 0.9(0.1) | 1.1(0.1) | 89.2(20.5) | 10.5(1.2) | 8.2(1.5) | 0.3(0.0) | 1.8(0.2) |
| LU-SA | 0.8(0.1) | 2.3(0.3) | 95.5(20.5) | 9.4(1.0) | 8.4(1.6) | 0.5(0.1) | 1.3(0.1) |

[1] LL-CA: high input in succession Lowland cropping; LL-SA: low input in succession Lowland cropping; LU-CA: high input in rotation Lowland-Uping cropping; LU-SA: low input in rotation Lowland-Uping cropping.

表 7. 2013 年第一期作溪口農場水稻紋枯病之罹病率與罹病度。

Table 7. The disease incidence and disease severity of rice sheath blight in Chi-Ko Branch Farm in the first crop 2013

| Treatment | Disease incidence, % (disease severity, %) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3/07 | 3/20 | 4/03 | 4/17 | 5/02 | 5/15 | 5/29 |
| LL-CA[1] | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.6(0.2) | 1.2(0.1) |
| LL-SA | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2(0.1) | 1.4(0.2) |
| LU-CA | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.3(1.3) | 1.4(0.2) |
| LU-SA | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.0(0.5) | 0.3(0.0) |

[1] LL-CA: high input in succession Lowland cropping; LL-SA: low input in succession Lowland cropping; LU-CA: high input in rotation Lowland-Uping cropping; LU-SA: low input in rotation Lowland-Uping cropping.

表 8. 2013 年第一期作雲林分場水稻葉稻熱病之罹病率與罹病度。

Table 8. The disease incidence and disease severity of rice leaf blast in Yuin-Lin Branch Station in the first crop 2013

| Treatment | Disease incidence, % (disease severity, %) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3/14 | 3/27 | 4/10 | 4/24 | 5/08 | 5/22 | 6/05 |
| LL-CA [1] | 1.2(0.1) | 0.6(0.1) | 90.0(21.2) | 100.0(59.7) | 7.6(2.1) | 2.8(0.3) | 0.6(0.1) |
| LL-SA | 1.6(0.2) | 1.0(0.1) | 80.4(18.5) | 100.0(37.5) | 11.0(3.2) | 0.2(0.0) | 0.0(0.0) |
| LU-CA | 1.8(0.2) | 1.5(0.2) | 95.1(26.1) | 100.0(47.0) | 9.8(2.7) | 2.5(0.3) | 0.0(0.0) |
| LU-SA | 0.9(0.1) | 1.2(0.1) | 98.8(29.3) | 100.0(42.5) | 11.8(3.5) | 1.4(0.2) | 2.0(0.4) |

[1] LL-CA: high input in succession Lowland cropping; LL-SA: low input in succession Lowland cropping; LU-CA: high input in rotation Lowland-Uping cropping; LU-SA: low input in rotation Lowland-Uping cropping.

表 9. 2013 年第二期作溪口農場水稻葉稻熱病之罹病率與罹病度。

Table 9. The disease incidence and disease severity of rice leaf blast in Chi-Ko Branch Farm in the second crop 2013

| Treatment | Disease incidence, % (disease severity, %) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 8/28 | 9/11 | 9/25 | 10/09 | 10/23 |
| LL-CA [1] | 1.2(0.1) | 6.6(2.3) | 7.1(2.3) | 7.3(9.1) | 12.4(1.4) |
| LL-SA | 4.6(0.5) | 2.6(0.3) | 5.6(0.8) | 11.7(4.2) | 24.6(2.8) |

[1] LL-CA: high input in succession Lowland cropping; LL-SA: low input in succession Lowland cropping.

表 10. 2013 年第二期作雲林分場水稻葉稻熱病之罹病率與罹病度。

Table 10. The disease incidence and disease severity of rice leaf blast in Yuin-Lin Branch Station in the second crop 2013

| Treatment | Disease incidence, % (disease severity, %) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 9/04 | 9/18 | 10/02 | 10/16 |
| LL-CA [1] | 5.0(0.6) | 8.2(2.2) | 24.0(13.3) | 0.0(0.0) |
| LL-SA | 5.4(0.7) | 6.8(1.7) | 21.4(11.2) | 0.0(0.0) |

[1] LL-CA: high input in succession Lowland cropping; LL-SA: low input in succession Lowland cropping.

## 四、農業長期生態試驗園區指標昆蟲–瓢蟲之調查

102 年一、二期作栽培期間，在溪口農場及雲林分場二試區每二週調查一次所得之瓢蟲種類與數量如下：

**溪口農場 (詳如圖 19 至圖 23 所示)：**

六條瓢蟲 *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius)

素鞘瓢蟲 *Illeis koebelei* Timberlake (柯氏素菌瓢蟲)

稻紅瓢蟲 *Micraspis discolor* (Fabricius)

錨紋瓢蟲 *Lemnia biplagiata* (Swartz)

六星瓢蟲 *Oenopia formosana* (Miyatake)

龜紋瓢蟲 *Propylea japonica* (Thunberg)

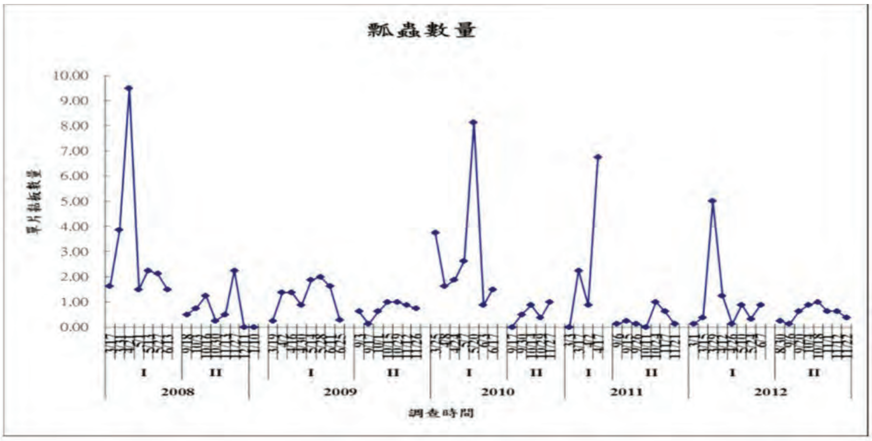
七星瓢蟲 *Coccinella septempunctata* Linnaeus

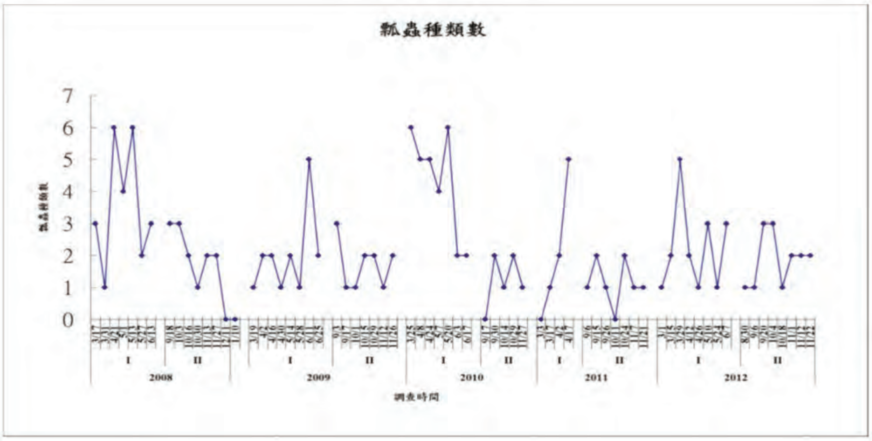
赤星瓢蟲 *Lemnia saucia* Mulsant

八條瓢蟲 *Harmonia octomaculata* (Fabricius)

波紋瓢蟲 *Coccinella transversalis* Fabricius

102 年連作區總計調查 13 次，結果顯示連作慣行耕作區 (Lowland/CA)平均瓢蟲種類數為 0.60 (最多 3 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 0.88；連作永續耕作區(Lowland/SA) 平均瓢蟲種類數為 0.59 (最多 3 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢



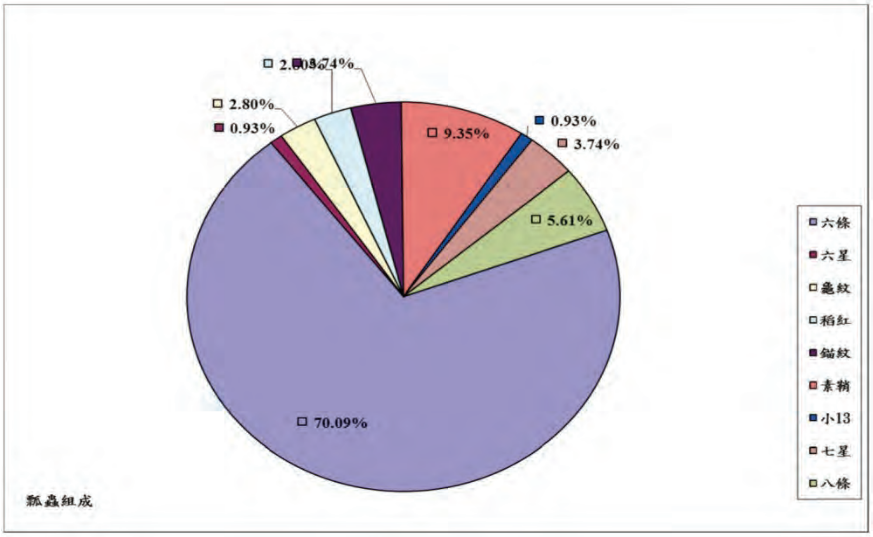




圖 19. 2008−2012 溪口農場連作 CA 區瓢蟲變化。

Fig.19. The change of the amounts of ladybugs in lowland-lowland conventional agroecosystem on Chi-Ko branch farm from 2008 to 2012.

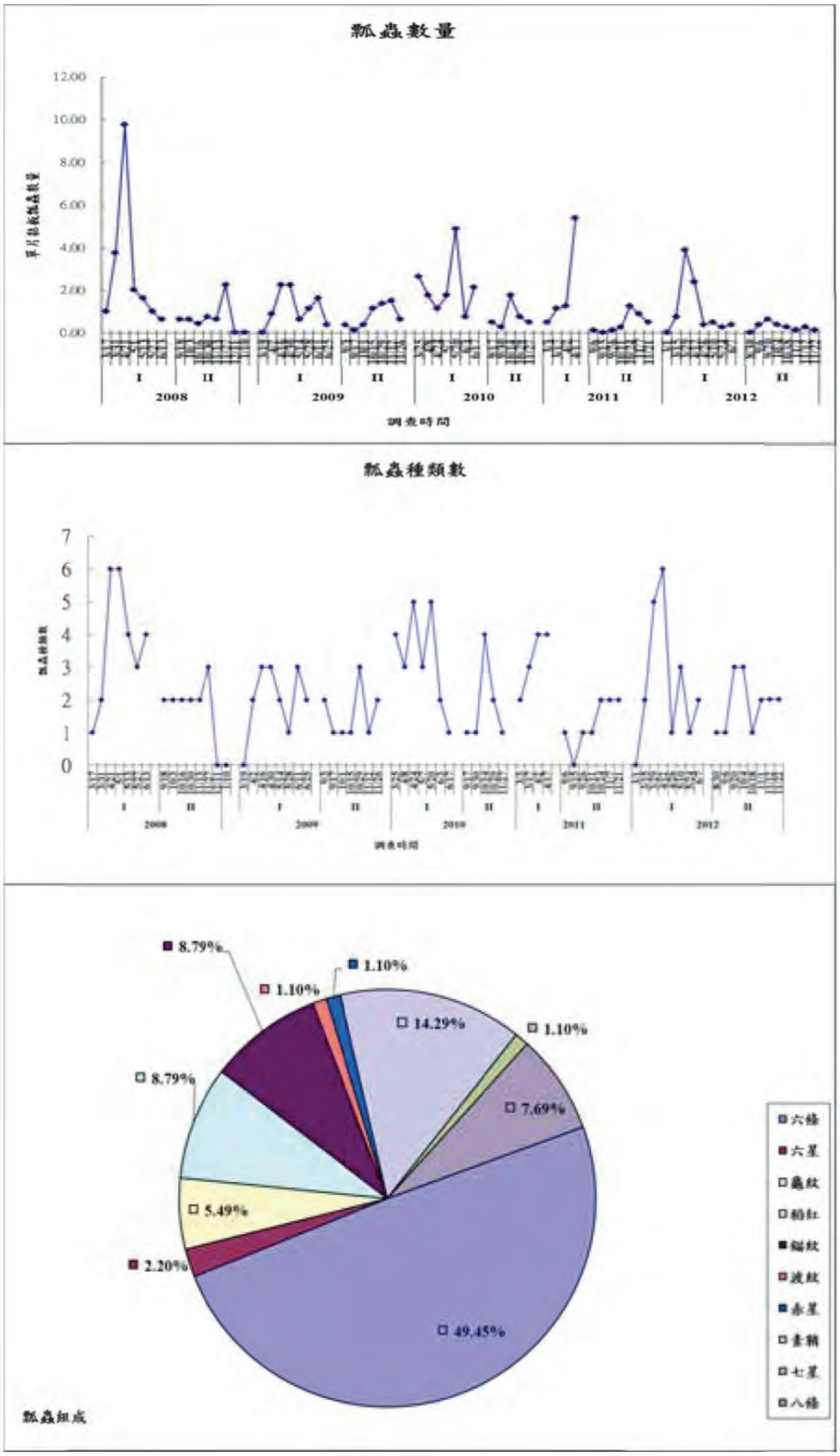



圖 20. 2008−2012 溪口農場連作 SA 區瓢蟲變化。

Fig. 20. The change of the amounts of ladybugs in lowland-lowland sustainable agroecosystem on Chi-Ko branch farm from 2008 to 2012

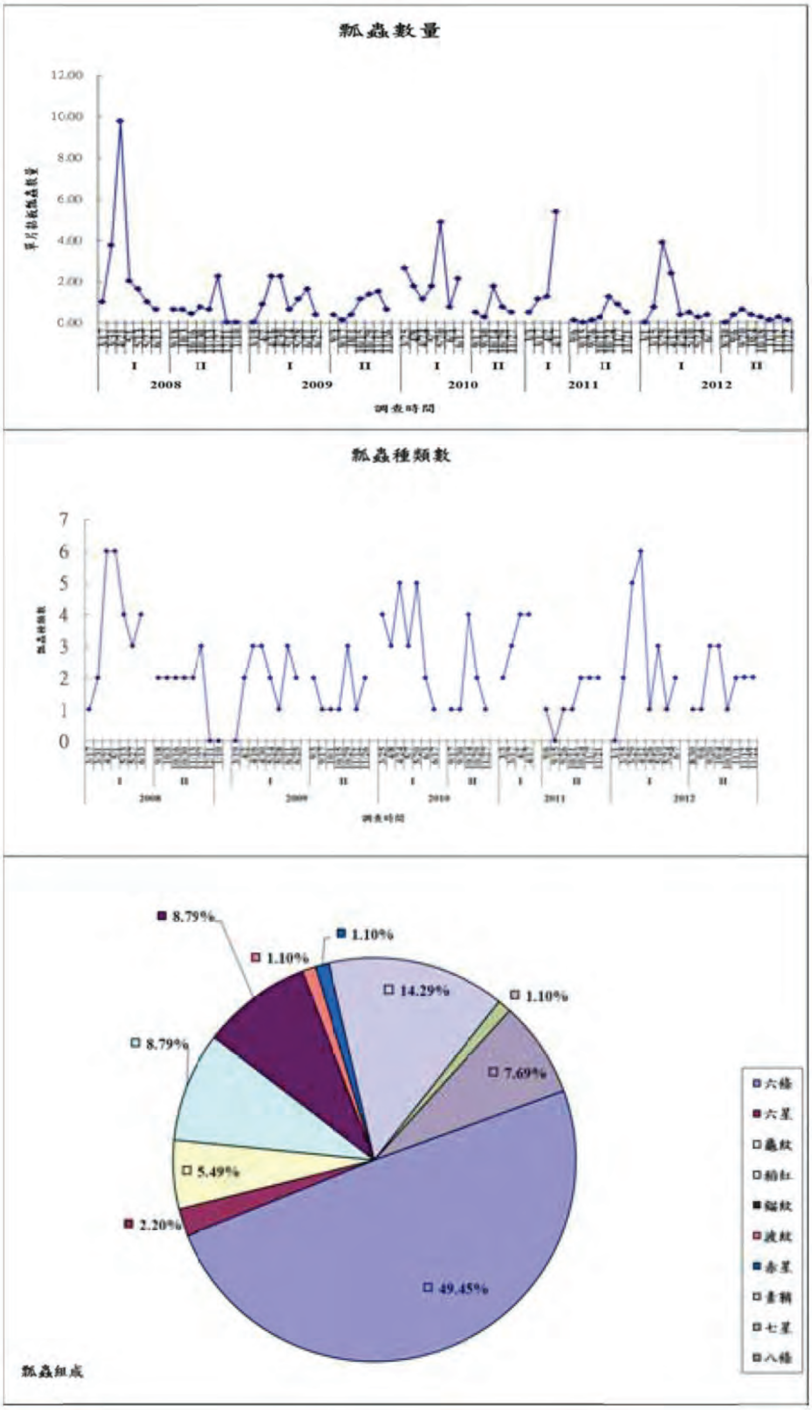



圖 21. 2008−2012 溪口農場輪作 CA 區瓢蟲變化。(2012 年二期作期間因連續陰雨，花生輪作被迫放棄，調查資料闕如)

Fig. 21. The change of the amounts of ladybugs in lowland-upland conventional agroecosystem on Chi-Ko branch farm from 2008 to 2012

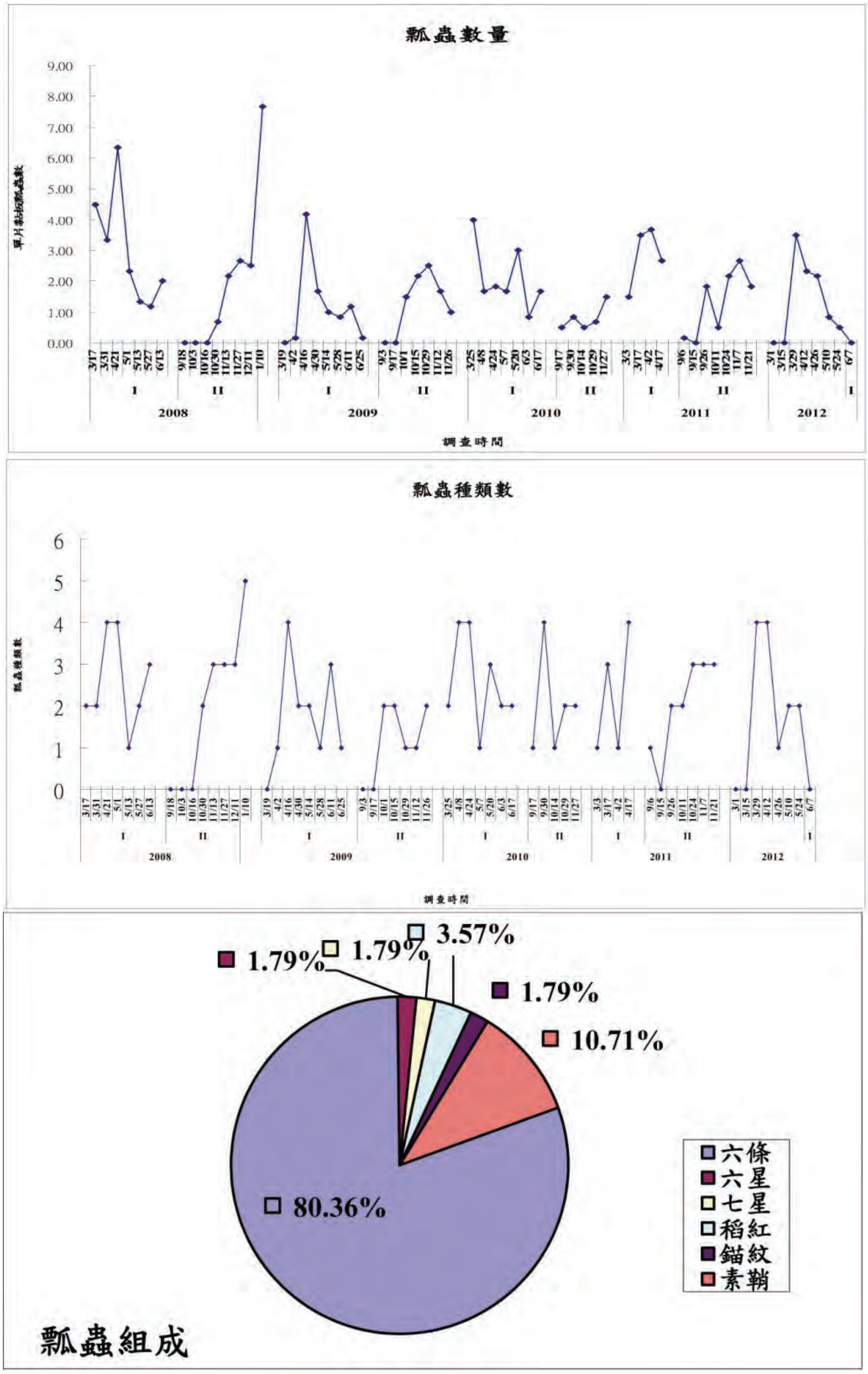



圖 22. 2008−2012 溪口農場輪作 SA 區瓢蟲變化。(2012 年二期作期間因連續陰雨，花生輪作被迫放棄，調查資料闕如)

Fig. 22. The change of the amounts of ladybugs in lowland-upland sustainable agroecosystem on Chi-Ko branch farm from 2008 to 2012

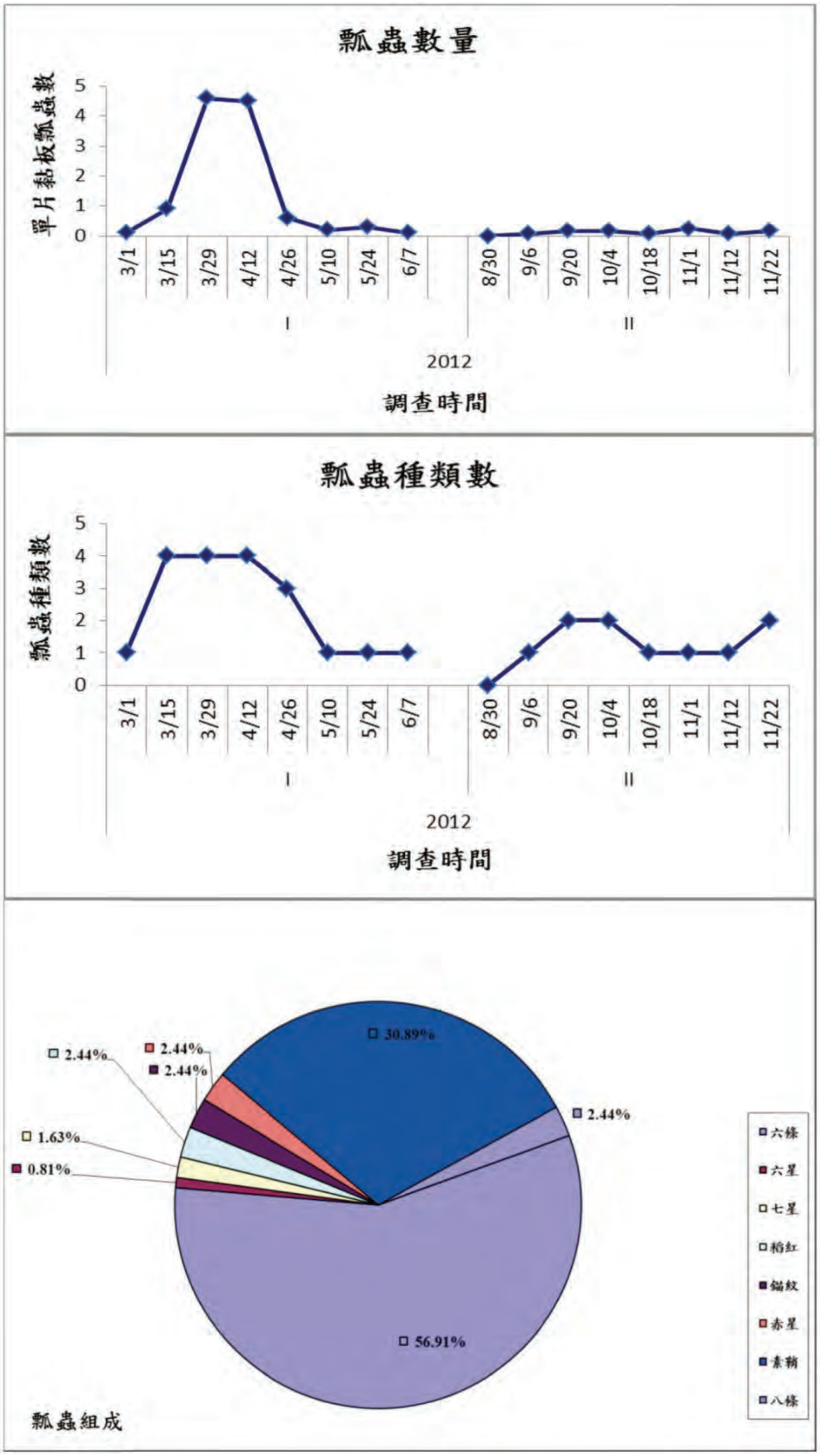



圖 23. 溪口農場外農民慣行耕作區瓢蟲變化。

Fig. 23. The change of the amounts of ladybugs in the conventional field out of Chi-Ko branch farm from 2008 to 2012

蟲數為 0.73。輪作區 102 年二期作期間因連續陰雨，未能耕作，僅於一期作期間調查 8 次，結果顯示輪作慣行耕作區 (Lowland-Upland/CA) 平均瓢蟲種類數為 1.02 (最多 3 種,最少 0 種),平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.36;輪作永續耕作區 (Lowland-Upland/SA) 平均瓢蟲種類數為 0.96 (最多 3 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.44。場外農民慣行耕作區於一、二期作總計調查 12 次，結果顯示平均瓢蟲種類數為 0.63 (最多 4 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 0.86。綜合各試區調查結果，六條、七星、八條、素鞘、龜紋、與赤星瓢蟲為各試區之共通種，並以六條瓢蟲數量最多，占各試區瓢蟲總數之 36.92–68.12%，其次為素鞘瓢蟲 17.24–38.46%。龜紋、稻紅、錨紋、赤星、素鞘、六星瓢蟲僅發生於一期作；各試區瓢蟲發生數量一期作顯著較二期作為多；場外農民慣行耕作試區於二期作期間僅發生六條與七星瓢蟲，且整體瓢蟲發生數量非常少，但於一期作期間之瓢蟲發生種類與園區內慣行耕作區相似，但發生數量則較多；上述情況可能與水稻栽作期間之天候型態以及各試區當期作期間附近之作物或植被種類有關。

**雲林分場 (詳如圖 24 至圖 27 所示)：**

六條瓢蟲 *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius)

素鞘瓢蟲 *Illeis koebelei* Timberlake (柯氏素菌瓢蟲)

錨紋瓢蟲 *Lemnia biplagiata* (Swartz)

七星瓢蟲 *Coccinella septempunctata* Linnaeus

龜紋瓢蟲 *Propylea japonica* (Thunberg)

赤星瓢蟲 *Lemnia saucia* Mulsant

稻紅瓢蟲 *Micraspis discolor* (Fabricius)

八條瓢蟲 *Harmonia octomaculata* (Fabricius)

六星瓢蟲 *Oenopia formosana* (Miyatake)

大十三星瓢蟲 *Synonycha grandis* (Thunberg)

連作區總計調查 12 次，結果顯示連作慣行耕作區 (Upland/CA) 平均瓢蟲種類數為 0.99 (最多 4 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.69；連作永續耕作區 (Upland/SA)平均瓢蟲種類數為 0.81 (最多 3 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.68。輪作區二期作期間亦因連續陰雨，未能耕作，僅於一期作期間調查 7 次，結果顯示輪作慣行耕作區 (Lowland-Upland/CA) 平均瓢蟲種類數為 1.09 (最多 3 種，最少 1 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.58；輪作永續耕作區 (Lowland-Upland/SA) 平均瓢蟲種類數為 0.88 (最多 3 種，最少 1 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.43。雲林分場調查得之瓢蟲種類數與溪口農場相同，但波紋瓢蟲僅在溪口農場零星發生，大十三瓢蟲於雲林分場零星發生。六條、素鞘、七星、六星瓢蟲為雲林分場各試區之共通

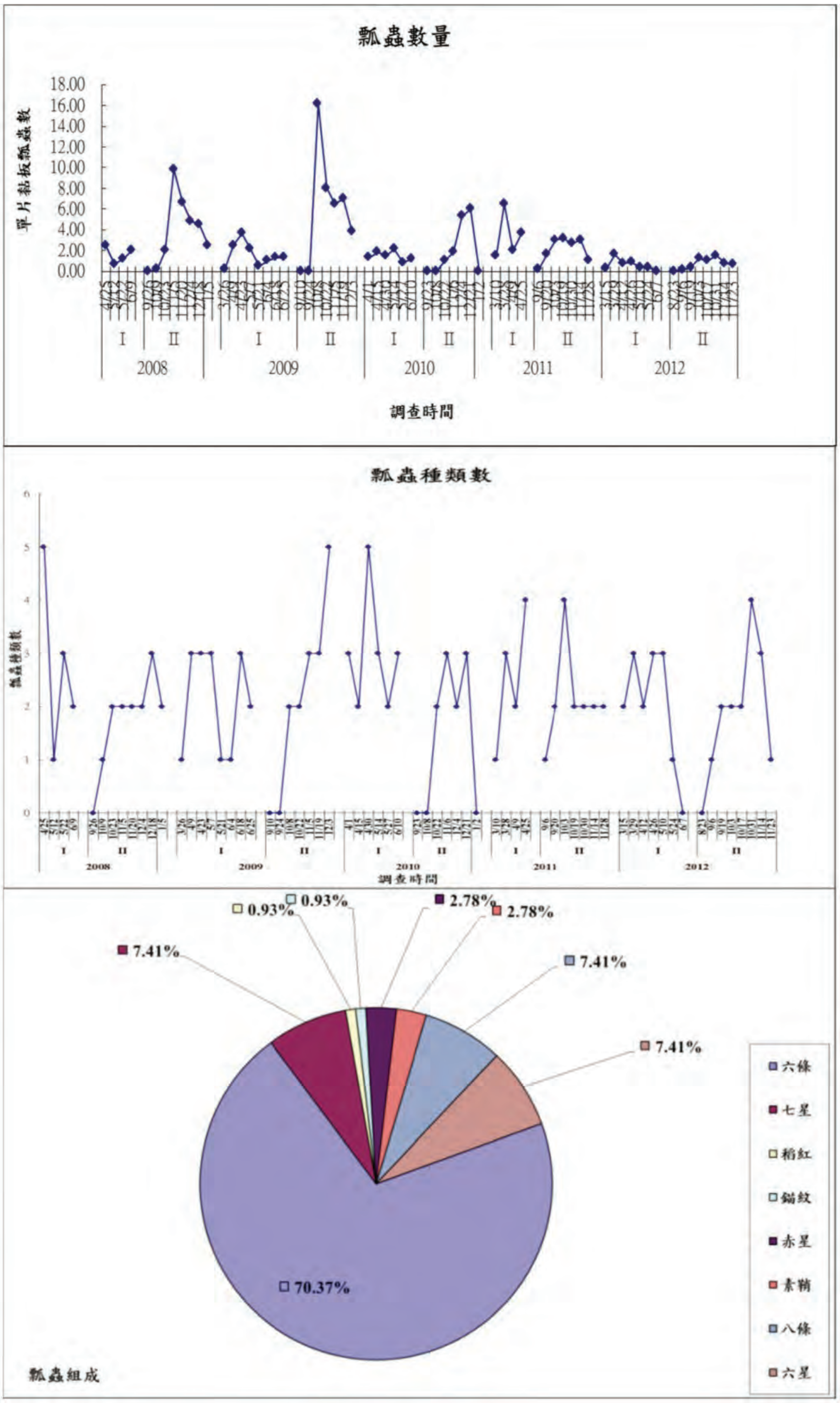



圖 24. 2008–2012 雲林分場連作 CA 區瓢蟲變化。

Fig. 24. The change of the amounts of ladybugs in lowland-lowland conventional agroecosystem on Yuin-Lin branch station from 2008 to 2012

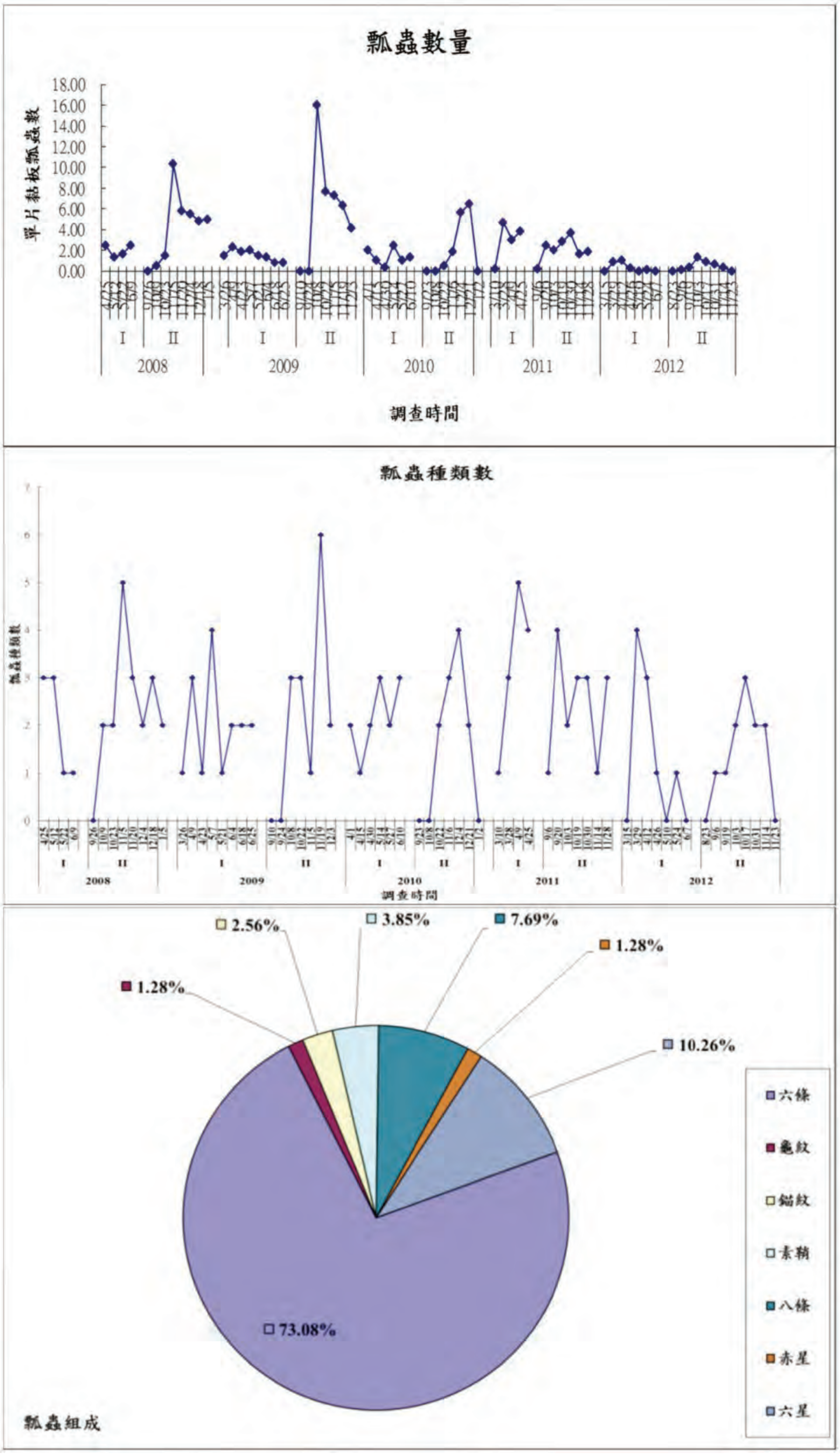



圖 25. 2008–2012 雲林分場連作 SA 區瓢蟲變化。

Fig. 25. The change of the amounts of ladybugs in lowland-lowland sustainable agroecosystem on Yuin-Lin branch station from 2008 to 2012

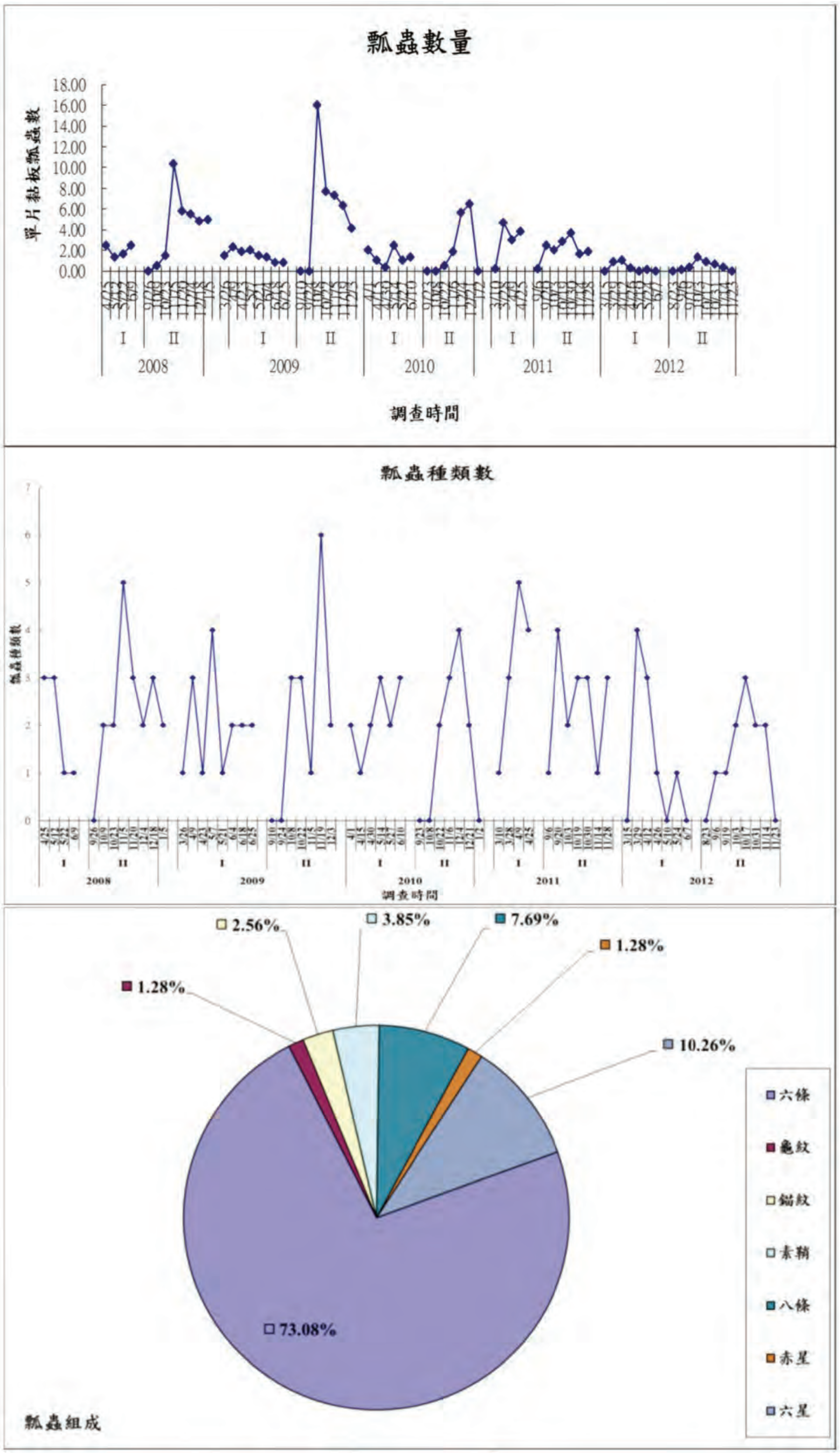



圖 26. 2008−2012 雲林分場輪作 CA 區瓢蟲變化。

Fig. 26. The change of the amounts of ladybugs in lowland-upland conventional agroecosystem on Yuin-Lin branch station from 2008 to 2012

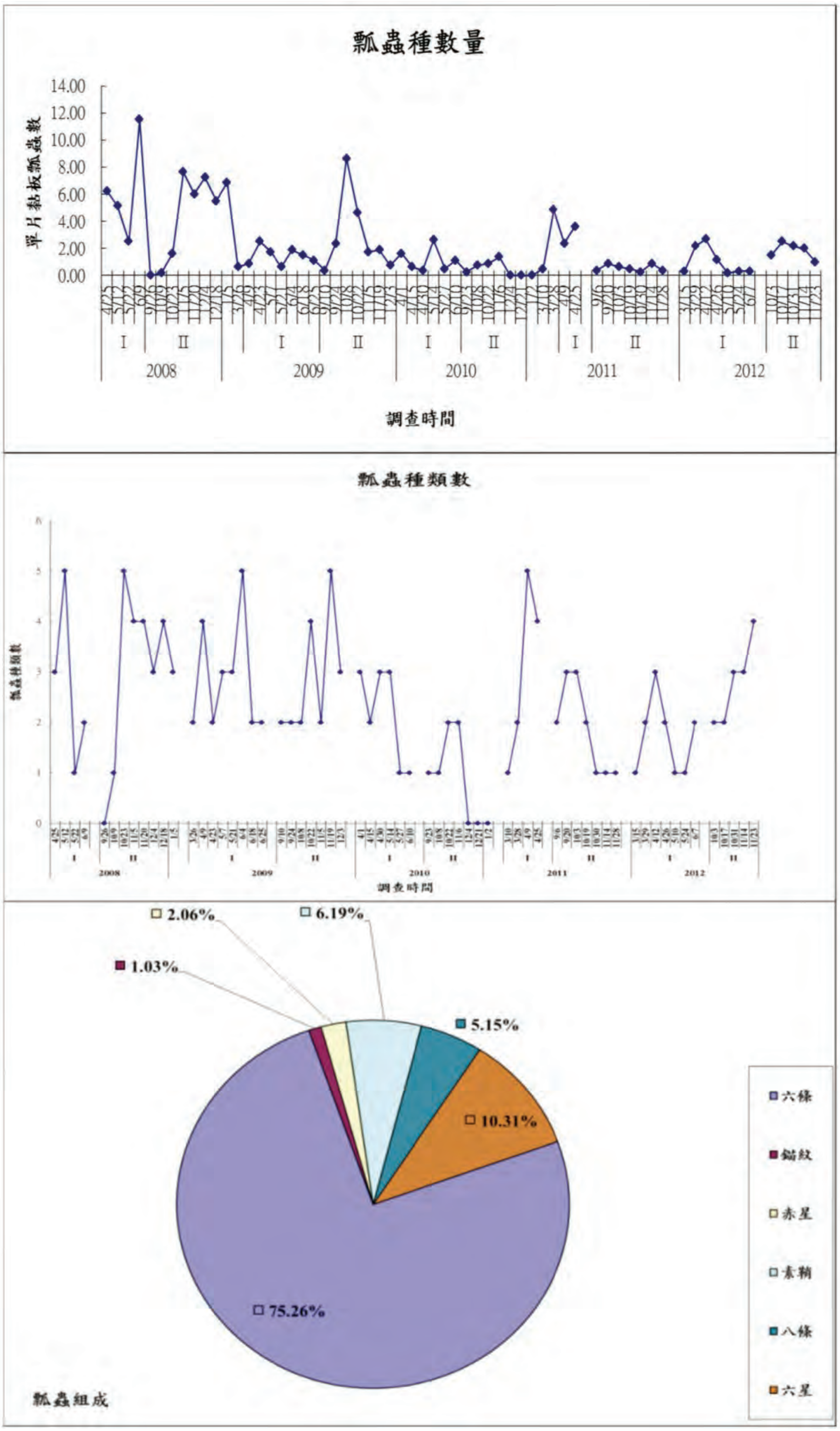



圖 27. 2008–2012 雲林分場輪作 SA 區瓢蟲變化。

Fig. 27. The change of the amounts of ladybugs in lowland-upland sustainable agroecosystem on Yuin-Lin branch station from 2008 to 2012

種，並以六條數量最多，占各試區瓢蟲總數之 50.68–75.84%，但發生數量不同於溪口農場乃以二期作較一期作為多，其次為素鞘 9.40–28.77%，但僅發生於一期作；雲林分場一、二期作瓢蟲發生數量較為相近；上述各項差異可能與水稻期作間當地的作物相有關。除此之外，雲林、溪口二農場內不論是連作、輪作區，或是採用傳統或永續農耕方式，截至目前之調查資料並未顯示特定之發生規律與差異性。

## 五、氣候變遷對不同耕作制度下雜草相之變化

本研究於本所嘉義分所溪口農場之長期農業生態系研究站進行，針對 2010 年至 2013 年 (僅一期作) 雜草調查資料，探討不同農耕生態系對雜草相變動之影響。整理 4 種農耕生態系發生之雜草科別數及種別數 (圖 28)，一期作可發現較高肥料的慣行 CA 區所出現的雜草科別數多於較低肥料的 SA 區，二期作 (2010 年至 2012 年) 亦有相同趨勢，然二期作者較高於一期作者的，可能由於二期作生育前期的環境溫度相對較高，而發生出較多的雜草科別數與種別數 (Hsiao *et al*. 2011)。其次，PU 生態系所分布的雜草科別及種別多於 PP 生態系 (圖 28)，由於旱田與水田環境差異甚大，原先水田狀態休眠之旱作雜草將在旱田中陸續萌芽，可能使得 PU 之雜草種類多於 PP 者 (Kuo 2004)。科別數及種別數在年際間的變化不一，顯示生態系的雜草相間互有競爭及消長，尚未至平衡狀態。又田區管理操作對雜草族群的影響似乎大過年度間的氣象差異 (資料未顯示)，大尺度的氣候變動對雜草相的消長仍須長時間累積予以觀察。

進一步整理參試 4 種農耕生態系排名前 5 種雜草分佈次序，對一期作 (2010–2013 年)的 PP 生態系而言，發生類型以水生雜草居多 (表 11)，無論 CA 與 SA 處理區，皆以母草 (*Lindernia procumbens*) 出現密度最高，其次為水莧菜 (*Ammannia baccifera*)，二期作 (2010–2012 年) 同樣可見這 2 種優勢雜草的存在於水田環境中。一期作亦為水田狀態的 PU 生態系所出現的雜草種類近似於 PP 生態系 (表 12)，惟因為二期作種植旱作，加上一期作草相調查為作季收穫前，田區維持濕潤狀態，讓旱田雜草有機會萌芽出土，所以在 PU 生態系中有水田及旱田雜草交錯發生，如霍香薊 (*Ageratum conyzoides*) 及香附子 (*Cyperus rotundus*) 在生育後期土壤微濕時會萌芽生長。PU 生態系的二期作田區主要由旱田雜草分佈，霍香薊、燈籠草 (*Physalis angulata*)、牽牛花 (*Ipomoea nil*) 、鱧腸 (*Eclipta prostrata*) 是最常出現的雜草種類，但牽牛花是田區中潛在危害力逐漸增加的族群，影響落花生生長甚鉅。最佳的雜草管理策略，仍是在雜草未明顯影響作物生長前進行抑制 (Chen & Chen 2005)，據此牽牛花的防治宜在雨後及萌芽初期控制族群擴張以降低危害。

由雜草相變化情形，可瞭解田區內雜草消長與農耕操作的密切關係，又由雜草族群改變原因，可提供作為田區雜草管理基礎 (Hsiao *et al*., 2013)。經由本研究分析 2010 年至 2013 年試驗資料，顯示溪口農場雜草相受到期作氣象及年際變化所影響，但操作

管理仍是影響草相異動的主要因子。惟各生態係雜草相是否可以逐漸達到穩定平衡狀態，可能需要更多時間予以觀察。針對氣候變遷所產生的影響，同樣需要長時間尺度的累積，才能夠釐清其效應，並由雜草相的動態變化因應調整管理模式，以提供更符合生態保育的雜草管理方法。

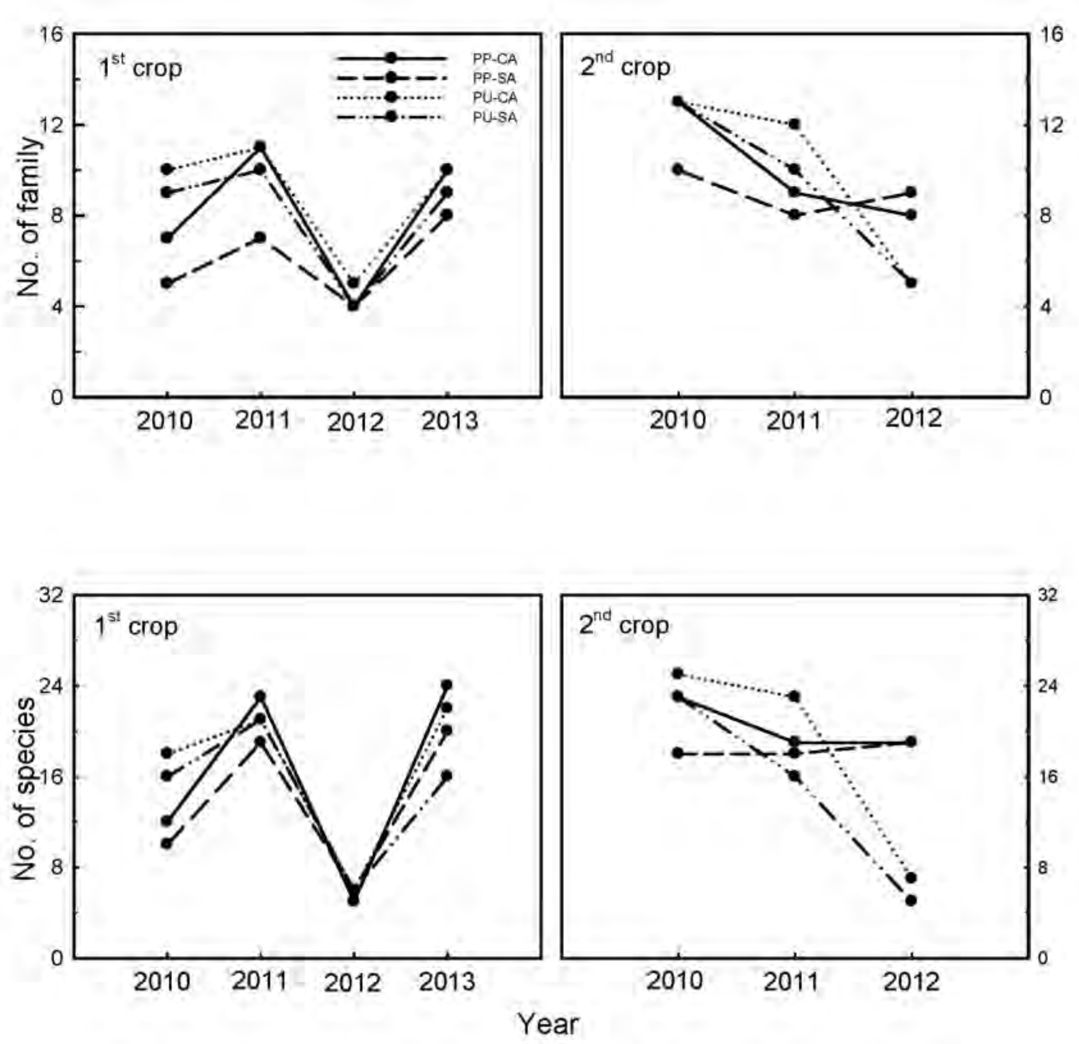



Fig. 28. Differences in numbers of weed family and weed species in vary cropping systems in the first and second cropping seasons of 2010 to 2013(only first cropping season). PP: paddy-paddy cropping system; PU: paddy-upland rotation cropping system; CA: conventional agro-ecosystem; SA: sustainable agro-ecosystem.

表 11. The population densities of weed species for the top five rankings collected in paddy-paddy agro-ecosystem in the first and second cropping seasons of 2010 to 2013(only first cropping season).

| Species | First crop | | | | | | | | Second crop | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CA[z] | | | | SA | | | | CA | | | SA | | | LC | | |
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2010 | 2011 | 2012 | 2010 | 2011 | 2012 | 2010 | 2011 | 2012 |
| | plant m$^{-2}$ (ranking) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Alternanthera sessilis* | 1.0[y]±2.0(4) | - | - | - | 0.4±0.9(4) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| *Alternanthera nodiflora* | -[x] | - | 0.1±0.3(5) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| *Ammannia baccifera* | 6.8±12.8(1) | 10.6±8.5(4) | 8.1±26.3(1) | 11.4±10.1(2) | 16.2±12.5(1) | 21.3±20.1(3) | 31.7±40.4 (1) | 35.1±48.1(2) | 46.4±24.6(5) | 23.6±6.7(2) | 52.4±85.2(3) | 79.2±89.5(2) | 24.2±3.05(2) | 97.8±22.0(2) | | | |
| *Ammannia multiflora* | 1.5±3.0(3) | - | - | - | 0.6±1.3(3) | - | 0.8±3.0 (3) | - | - | - | - | - | - | 13.5±20.1(4) | 79.2±89.5(2) | 24.2±3.05(2) | 97.8±22.0(2) |
| *Aster subulatus* | - | - | - | - | - | - | 0.2±0.5 (5) | - | - | 14.1±28.1(4) | 85.1±211.5(2) | - | 2.8±5.5(4) | 43.3±68.8(3) | | | 13.5±20.1(4) |
| *Brachiaria subquadripara* | - | - | 7.2±4.0(2) | - | - | - | 6.4±3.0 (2) | - | - | - | - | - | - | - | | 2.8±5.5(4) | 43.3±68.8(3) |
| *Cardamine flexuosa* | - | - | - | - | - | - | - | - | 56.7± 97.1(2) | - | - | 8.1±10.6(5) | - | - | | | |
| *Cyperus difformis* | - | 22.9±16.9(2) | - | 9.9±11.2(3) | - | 41.1±58.1(2) | - | 10.2±13.1(3) | - | - | - | - | 2.8±2.1(4) | - | 8.1±10.6(5) | | |
| *Cyperus iria* | - | - | - | 4.5±13.4(4) | - | 5.5±4.0(5) | - | - | 54.3±37.1(3) | - | - | 38.3±30.8(3) | - | - | | 2.8±2.1(4) | |
| *Echinochloa colona* | 1.6±1.8(2) | - | 1.4±1.6(3) | - | 0.4±0.5(5) | - | 0.5±0.5(4) | - | - | - | - | - | - | - | 38.3±30.8(3) | | |
| *Fimbristylis littoralis* | - | 8.4±8.3(5) | - | - | - | 15.7±10.4(4) | - | - | - | 4.7±8.9(5) | - | 8.4±11.8(4) | 6.1±5.7(3) | - | | | |
| *Fimbristylis miliacea* | - | - | - | 3.8±3.7(5) | - | - | - | 5.8±8.4(5) | - | - | - | - | - | - | | | |
| *Lindernia antipoda* | - | 22.0±36.2(3) | - | - | - | - | - | - | 51.2±53.6(4) | 18.2±26.9(3) | 51.7±54.6 (4) | - | - | 9.3±3.3(5) | | | |
| *Lindernia procumbens* | 0.9±1.8(5) | 225.1±194.9(1) | - | 203.4±86.0(1) | 1.6±3.3(2) | 157.1±110.5(1) | - | 58.1±34.6(1) | 125.6±106.6(1) | 49.4±77.3(1) | 215.4±103.9(1) | 88.2±87.7(1) | 71.4±68.3(1) | 116.6±73.6(1) | 8.4±11.8(4) | 6.1±5.7(3) | |
| *Schoenoplectus juncoides* | - | - | 0.2±0.8(4) | - | - | - | - | 6.1±11.7(4) | - | - | - | - | - | - | | | |
| *Soliva anthemifolia* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 5.7±16.1(5) | - | - | - | | | 9.3±3.3(5) |
| Others | 0.9 | 21.6 | 0.0 | 17.7 | 0.9 | 9.3 | 0.1 | 9.9 | 43.4 | 13.6 | 15.5 | 23.7 | 11.1 | 18.7 | 88.2±87.7(1) | 71.4±68.3(1) | 116.6±73.6(1) |
| Total | 12.6 | 310.6 | 17.0 | 250.6 | 20.2 | 250 | 39.6 | 125.2 | 377.6 | 123.6 | 425.9 | 245.9 | 118.3 | 299.1 | | | |

[z] CA: conventional agro-ecosystem; SA: sustainable agro-ecosystem.
[y] indicate total of weeds count.
[x] Not recorded

表 12. The population densities of weed species for the top five rankings collected in paddy-upland rotation agro-ecosystem in the first and second cropping seasons of 2010 to 2013(only first cropping season).

| Species | First crop -CA[z] | | | | First crop -SA | | | | Second crop -CA | | | Second crop -SA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2010 | 2011 | 2012 | 2010 | 2011 | 2012 |
| | | | | | | | plant $m^{-2}$ (ranking) | | | | | | | |
| *Ageratum conyzoides* | 17.8[y]±25.6 (1) | - | - | - | - | - | - | - | 34.0±11.8(1) | 19.8±6.3(2) | - | 31.0±19.1(2) | 12.3(3) | - |
| *Alternanthera sessilis* | -[x] | - | - | - | - | 3.2± 3.5(4) | - | 13.5±20.0(4) | - | - | - | - | - | 15.0±51.1(3) |
| *Alternanthera philoxeroides* | - | - | 1.0±3.5(2) | - | - | - | 5.1±4.7(1) | - | - | - | - | - | - | - |
| *Ammannia baccifera* | 17.2±22.4(2) | 11.1±6.6(1) | - | 11.5±14.5(3) | 3.9±3.0(4) | 11.8±18.4(2) | - | 19.9±17.8(2) | - | - | - | - | - | - |
| *Ammannia multiflora* | - | - | - | - | 5.8±6.8(2) | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| *Brachiaria subquadripara* | - | - | 3.7±1.4(1) | - | - | - | 0.8±1.1(5) | - | - | - | - | - | - | - |
| *Cyperus difformis* | - | 4.3±3.5(5) | - | 52.3±68.2(1) | - | - | - | 24.5±3.5(1) | - | - | 0.1±0.5(5) | - | - | - |
| *Cyperus rotundus* | - | 7.1±6.8(3) | 0.7±1.1(3) | - | 6.7±6.3(1) | 5.5 ±5.5 (3) | 1.6±4.3(4) | - | 5.3± 5.8(4) | 29.0±22.7(1) | 4.0±2.4(3) | 6.5±0.4(4) | - | 2.8±2.0(4) |
| *Echinochloa crus-galli* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.2±0.6(4) | - | - | - |
| *Echinochloa colona* | - | - | 0.5±0.6(4) | - | - | - | 1.9±2.1(3) | - | - | - | - | - | - | - |
| *Eclipta prostrata* | 17.0±7.7(3) | 9.8±1.1(2) | 0.3±0.5(5) | 6.6±2.8(4) | 5.1±8.4(3) | 14.0±14.3 (1) | - | - | 22.8±20.4(2) | 11.0±3.3(4) | - | 36.4±22.5(1) | 2.7±1.5(5) | - |
| *Eleusine indica* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.9±5.1(4) | 0.1±0.3(5) |
| *Fimbristylis littoralis* | - | - | - | - | - | 3.2±3.0 (4) | - | 9.6±13.5(5) | - | - | - | - | - | - |
| *Ipomoea nil* | - | - | - | - | - | - | 2.3±5.1(2) | - | - | - | 10.9±6.4(2) | - | 16.3±14.9(2) | 58.8±32.9(1) |
| *Fimbristylis miliacea* | - | - | - | 4.8±10.0(5) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| *Lindernia antipoda* | 13.0±11.6(4) | - | - | - | - | - | - | - | 4.4 ±2.9(5) | - | - | 23.8±13.1(3) | - | - |
| *Lindernia procumbens* | 9.5±11.5(5) | - | - | 37.0±18.5(2) | 2.3 ±3.1(5) | - | - | 17.0±11.7(3) | - | - | - | - | - | - |
| *Paspalum conjugatum* | - | - | - | - | - | 3.2±5.5(4) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| *Physalis angulata* | - | - | - | - | - | - | - | - | 5.9± 1.3(3) | 16.7 ±12.1(3) | 14.3±13.7(1) | 6.1±6.5(5) | 60.5±44.2(1) | 30.3±27.6(2) |
| *Rorippa indica* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.8 ±3.2(5) | - | - | - | - |
| *Solanum americanum* | - | 4.3±1.2(4) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Others | 24.3 | 13.5 | 0.1 | 21.5 | 6.1 | 14.8 | 0.1 | 6.3 | 9.7 | 9.2 | 0.2 | 28.1 | 5.7 | 0.0 |
| Total | 98.8 | 50.1 | 6.2 | 133.8 | 29.8 | 55.5 | 11.8 | 90.8 | 87 | 87.4 | 29.7 | 131.9 | 100.3 | 106.6 |

[z] CA: conventional agro-ecosystem; SA: sustainable agro-ecosystem.

[y] indicate total of weeds count.

[x] Not recorded.

# 引用文獻

Altieri, M. A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Agric. Ecosyst. Environ. 74:19−31.

Chen, F. Y. and K. H. Chen. 2005. Evaluation of graminicides for weed control in peanut field. Weed Sci. Bull. 26(1):43−52. (in Chinese with English abstract)

Ho, N. K. and K. Itoh. 1991. Change in weed flora and their distribution in the Muda area. Paper presented at the 8th MADA/TRAC Quarterly Meeting on 3rd Nov. 1991. Alor Setar, Malaysia.

Hsiao, C. L., C. M. Yang, and Y.J. Lee. 2011. Effect of planting date on population and weeds in the paddy field. J. Taiwan Agric. Res. 60(2):139−148. (in Chinese with English abstract)

IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report.Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Iperti, G. and M. G. Paoletti. 1999. Biodiversity of predaceous coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. Special issue: Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes. Agric. Ecosyst. Environ. 74:323−342.

Kent, R., D. E. Johnson, and M. Becker. 2001. The influences of cropping system on weed communities of rice in Cote d’Ivoire, West Africa. Agric. Ecosystem Environ. 87(3):299−307.

Kuo, W. H. 2004. Seed ecology and weed management. Weed Sci. Bull. 25:53−68. (in Chinese with English abstract)

Naeem, S. and S. Li. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. Nature 390:507−509.

Obrist, M. and P. Duelli. 2010. Rapid biodiversity assessment of arthropods for monitoring average local species richness and related ecosystem services. Biodivers. Conserv. 19:2201−2220.

Sarma, A.A.L.N., T.L. Kumar and K. Koteswararao. 2008. Development of an agroclimatic model for the estimation of rice yield. J. Ind. Geophys. Union. 12: 89−96.

Schmitz, O. J. 2007. Predator diversity and trophic interactions. Ecology 88:2415−2426.

Yao, S. C. and C. C. Tao. 1972. Natural enemies of aphids. J. Nat. Taiwan Mus. 15:25−77。

Yu, G. Y. and H. Y. Wang. 1999. Guidebook to Lady Beetles of Taiwan. Published by Pei-Ni Shih, Taipei. 231 pp.

Zahoor, M. K., A. Suhail, J. Iqbal, Z. Zulfaqar, and M. Anwar. 2003. Biodiversity of predaceous coccinellids and their role as bioindicators in an agro-ecosystem. Int. J. Agri. Biol. 5:555−559.

# Long Term Monitoring on the Effect of Climate Change on Agricultural Ecosystem

Chi-Ling Chen[1,4], Jenn-Kuo Tsai[1], Ming-Huang Wu[1], Chih-Feng Chiang[1], Jyh-Nong Tsai[1], Chun-Wei Chen[1], Chien-Chung Chen[1], Jih-Zu Yu[1], Hsien-Tzung Shih[1], Shu-Pei Chen[1], Chiao-Ling Hsiao[1], Chewn-Ming Yang[1], Chia-Hsun Ho[1], Ming-Hwi Yao[1], Jer-Way Chang[1], Hong-Shu Wu[1], Win-Chang Sun[2], Rei-Chang Wang[2], and Wen-Jer Wu[3]

## Abstract

The major aims of this study are to investigate the effect of climate change on agriculture system. For these aims, firstly, meteorological data are analyzed from three study stations of long term ecological research (LTER); include Yuin-Lin branch station, Chi-Ko branch farm, and Chia-Yi branch of Agricultural Research Institute. Air temperature keeps increasing from 1988 to 2013 in Yuin-Lin branch station; however, there are no significant differences from 2000 to 2013 in three LTER stations. Besides, rainfall in April 2010, April 2011, and November 2012 is higher than previous years. Secondly, there are no significant linear relationships between yields of rice grown and not only average air temperature, but also growing degree day (GDD) in Yuin-Lin and Chi-Ko, but the yield show a reducing trend if the average air temperature and GGD increase. Also, there are no significant linear relations between yields and not only average air temperature, but also GDD in 15 study stations around Taiwan, The yield in 15 study stations show a reducing trend if the average and minimum air temperature increase, but increasing if the maximum air temperature increases. Moreover, DNDC simulated model shows an inconsistent result with realistic situation which the yield in south area is higher than in north in Taiwan. Thirdly, the major rice diseases are rice blast and sheath blight, and the disease incidences have no significant differences between conventional (CA) and sustainable agroecosystem (SA). The major sweet potato disease is southern blight, and the disease incidence shows a slight serious condition in CA area. The major peanut diseases are leaf spot and rust. There are no significant differences in disease incidences of leaf spot between CA and SA, but the disease incidences of rust disease are lower in CA. Fourthly, the dominant indicator insect, ladybug, is *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius). But the biodiversity of ladybug has no differences in different years. Finally, average weed density, average weed fresh mass and

single weed fresh mass are higher in SA than CA. Average weed fresh mass and single weed fresh mass are higher in paddy-upland cropping (PP) than paddy-paddy cropping (PP), but average weed density is just the reverse.

**Keywords:** Long term ecological research (LTER), Conventional agroecosystem, Sustainable.

1 Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.
2 Tainan District Agricultural Research and Extention Station, Council of Agriculture, Executive Yuan.
3 Department and Graduate Institute of Entomology, National Taiwan University.
4 Corresponding Author, Email: Chiling@tari.gov.tw; Tel: 04-23317407.